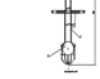
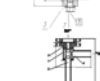
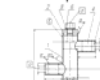
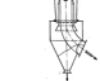
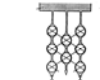
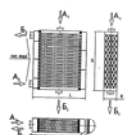
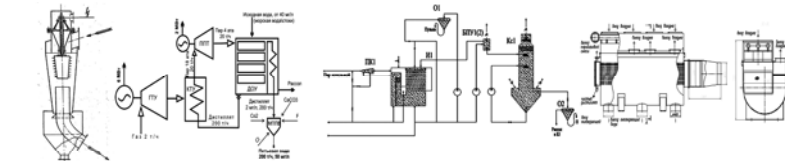




УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Химико-технологический факультет
кафедра МАШИНЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

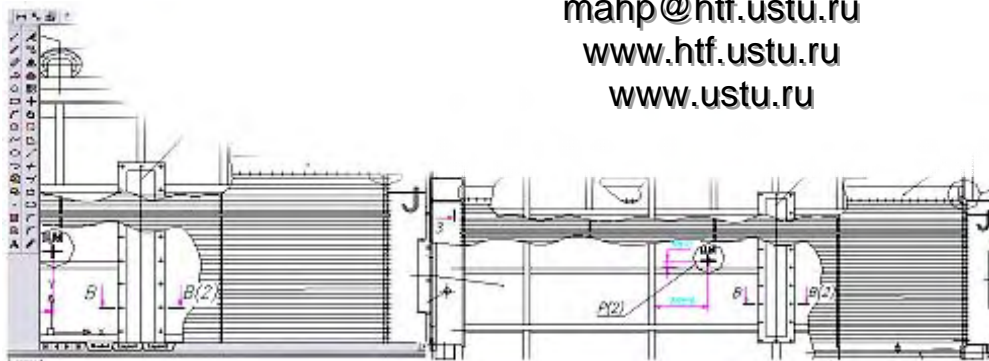
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 28, тел. (343) 375-44-48, 375-95-76
факс: (343) 375-44-48, e-mail: mahp@htf.ustu.ru www.htf.ustu.ru www.ustu.ru



Кафедра «Машин и аппаратов химических производств» Химико-технологического факультета УГТУ-УПИ работает в области:

- Исследование, расчет и конструирование разнообразной химической техники. Аудит и предложения по модернизации, обеспечению оптимальной и надежной работы оборудования.
- Внедрение и содействие при внедрении в производство новых технологий и оборудования.
- Подготовку специалистов по указанным специальностям.
1705 «Машины и аппараты химических производств»
1706 «Машины и аппараты пищевых производств»

т\ф (3432) 375-44-48; 375-95-76
mahp@htf.ustu.ru
www.htf.ustu.ru
www.ustu.ru





А. А. ЛАЩИНСКИЙ, А. Р. ТОЛЧИНСКИЙ

ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА ХИМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

СПРАВОЧНИК

Издание 2-е,
переработанное и дополненное

Под редакцией
инж. Н. Н. Логинова



ИЗДАТЕЛЬСТВО «МАШИНОСТРОЕНИЕ»
ЛЕНИНГРАД 1970

Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Л а щ и н - с к и й А. А., Толчинский А. Р., Л., «Машиностроение», 1970 г., 752 стр. Табл. 476. Илл. 418. Библ. 218 назв.

В справочнике изложены основы конструирования и расчета химической аппаратуры, применяемой в химической и других отраслях промышленности. Приведены данные по основным конструкционным материалам (металлам, сплавам и неметаллическим материалам) и рекомендации по их применению. Освещены вопросы сварки, пайки и склеивания конструкционных материалов применительно к химическим аппаратам. Рассмотрены нормализованные и типовые конструкции основных узлов и деталей, изложены инженерные методы и примеры прочностных и некоторых других конструктивных расчетов.

В справочнике имеется большое количество таблиц с обобщенными и систематизированными данными по конструкционным материалам, нормализованным узлам и деталям и другим нормативам, а также много рисунков в виде чертежей и графиков.

По сравнению с первым изданием (1963 г.) весь материал в справочнике полностью переработан и значительно расширен.

Справочник рассчитан на инженерно-технических работников, занятых конструированием химических аппаратов и проектированием химических производств. Он может быть использован студентами вузов соответствующих специальностей при курсовом и дипломном проектировании.

3—14—2
356—69

Рецензент НТО Машпрома ЛенНИИхиммаша

Александр Александрович ЛАЩИНСКИЙ

Арон Рахмилович ТОЛЧИНСКИЙ

**ОСНОВЫ
КОНСТРУИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА
ХИМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ**

Редакторы издательства: В. П. Васильева, Г. Н. Павлова и В. М. Рашаль. Переплет художника О. И. Цыплакова
Технический редактор Л. В. Щетинина. Корректоры: Э. П. Смоленцева и Р. Г. Солодкина

Сдано в производство 18/II 1970 г. Подписано к печати 8/X 1970 г. М 12435. Формат бумаги 84×108/16. Привед. печ. л. 78,96.
Уч.-изд. л. 89,2. Тираж 15 000 экз. Цена 4 р. 76 к. Зак. № 529.

Ленинградское отделение издательства «МАШИНОСТРОЕНИЕ», Ленинград, Д-65, ул. Дзержинского, 10

Главполиграфпром Комитета по печати при Совете Министров СССР. Печатано в Ленинградской типографии № 14 «Красный Печатник». Московский пр., 91. Заказ 2008 с набора Ленинградской типографии № 6. Ленинград, С-144, ул. Моисеенко, 10.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5		360
Принятые обозначения основных величин	6		
РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ			
КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ХИМИЧЕСКОМ АППАРАТОСТРОЕНИИ			
Глава 1. Требования, предъявляемые к конструкционным материалам для химической аппаратуры	9		
Глава 2. Черные металлы и сплавы	12		
2.1. Черные металлы и сплавы, преимущественно применяемые в химическом аппаратостроении	—		
2.2. Качественная и эксплуатационная характеристики, механические и физические свойства черных металлов и сплавов	67		
2.3. Рекомендуемый сортамент полуфабрикатов из черных металлов и сплавов	102		
Глава 3. Цветные металлы и сплавы	133		
3.1. Цветные металлы и сплавы, преимущественно применяемые в химическом аппаратостроении	—		
3.2. Механические и физические свойства цветных металлов и сплавов	149		
3.3. Рекомендуемый сортамент полуфабрикатов из цветных металлов и сплавов	158		
Глава 4. Неметаллические материалы	173		
4.1. Неметаллические материалы, преимущественно применяемые в химическом аппаратостроении	—		
4.2. Механические и физические свойства неметаллических материалов	186		
4.3. Сортамент полуфабрикатов и изделий из неметаллических материалов	193		
Глава 5. Лакокрасочные материалы	204		
Глава 6. Материалы для сварки, пайки и склеивания	216		
6.1. Материалы для сварки черных металлов и сплавов	—		
6.2. Материалы для сварки цветных металлов и сплавов	230		
6.3. Припой для мягкой и твердой пайки металлов и сплавов	232		
6.4. Клеи для склеивания конструкционных материалов	234		
6.5. Кислотоупорные замазки, цементы и герметики	238		
Глава 7. Материалы для прокладок и набивок	239		
Глава 8. Оптические материалы	248		
Глава 9. Рекомендуемые конструкционные материалы для химической аппаратуры, работающей в различных агрессивных средах	272		
РАЗДЕЛ ВТОРОЙ			
СВАРКА, ПАЙКА И СКЛЕИВАНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ХИМИЧЕСКОМ АППАРАТОСТРОЕНИИ			
Глава 10. Сварка черных и цветных металлов и сплавов	345		
10.1. Сварка углеродистой и низколегированной сталей	345		
Ручная электродуговая сварка (360). Автоматическая сварка под слоем флюса (362). Полуавтоматическая сварка малоуглеродистой стали (358). Газовая сварка малоуглеродистой стали (358). Автоматическая и полуавтоматическая сварки малоуглеродистой стали в среде углекислого газа (359)			
10.2. Сварка теплоустойчивых сталей марок 12ХМн и 12МХ	360		
10.3. Сварка хромистой стали марок 0Х13, 1Х13, 1Х17, 0Х17Т, 1Х17Т, 2Х25Т и Х28АН	—		
10.4. Сварка сталей 0Х22Н5Т и 0Х21Н6М2Т			
Ручная электродуговая сварка (360). Ручная аргоно-дуговая сварка (360)			
10.5. Сварка высоколегированных коррозионно-стойких сталей марок 0Х18Н10Т, Х18Н10Т, 0Х18Н12Б, Х17Н13М2Т и Х17Н13М3Т			
Ручная электродуговая сварка (362). Автоматическая и полуавтоматическая сварки сталей марок 0Х18Н10Т, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т и Х17Н13М3Т под слоем флюса (362). Автоматическая аргоно-дуговая сварка электродом (362). Ручная аргоно-дуговая сварка стали 0Х18Н10Т и Х18Н10Т неплавящимся электродом (362)			
10.6. Сварка высоколегированной коррозионно-стойкой стали марки 0Х17Н16М3Т			
Ручная аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом (363). Ручная электродуговая сварка (363)	363		
10.7. Сварка высоколегированной стали марки 0Х23Н28М3ДЗТ			
Ручная, автоматическая и полуавтоматическая аргоно-дуговая сварки (363). Ручная электродуговая сварка (363)			
10.8. Сварка высокопрочной стали Х16Н6			
Ручная электродуговая сварка (363). Ручная аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом (364)			
10.9. Сварка двухслойных сталей с коррозионно-стойким слоем из стали марок 0Х13, 0Х18Н10Т, Х17Н13М2Т и 0Х17Н16М3Т			
Автоматическая сварка основного и коррозионно-стойкого слоев (364). Автоматическая сварка основного слоя и ручная электродуговая сварка коррозионно-стойкого слоя (366). Ручная сварка основного и коррозионно-стойкого слоев (366)	364		
10.10. Сварка стыковых соединений труб из углеродистой и высоколегированной сталей, работающих при условном избыточном давлении до 10 Мн/м ² (100 кгс/см ²)			
Газовая и ручная электродуговая сварки труб из сталей марок 10 и 20 и низколегированной стали марки 10Г2 (367). Ручная электродуговая и аргоно-дуговая сварки труб из сталей марок Х18Н10Т, 0Х18Н12Б и Х17Н13М2Т (368)	367		
10.11. Сварка стыковых соединений труб, работающих при условном избыточном давлении от 10 до 100 Мн/м ² (от 100 до 1000 кгс/см ²) и температуре от -50 до +510°С			
Автоматическая сварка под слоем флюса (373). Автоматическая и полуавтоматическая аргоно-дуговая сварки плавящимся электродом (373). Автоматическая аргоно-дуговая сварка расщепленной дугой (373). Аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом (373). Ручная электродуговая сварка (373). Газовая сварка (373)	368		
10.12. Сварка алюминия марок А7, А6, А5 и алюминиевых сплавов марок АД00, АД0, АД1 и АМЦ			
Автоматическая сварка под слоем флюса (373). Автоматическая и полуавтоматическая аргоно-дуговая сварки плавящимся электродом (373). Автоматическая аргоно-дуговая сварка расщепленной дугой (373). Аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом (373). Ручная электродуговая сварка (373). Газовая сварка (373)	373		
10.13. Сварка бескислородной меди марки МЗр			
Ручная электродуговая сварка (376). Ручная аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом тонколистовой бескислородной меди марки МЗр толщиной 1—4 мм (377). Полуавтоматическая сварка плавящимся электродом тонколистовой бескислородной меди марки МЗр толщиной 1,5—4 мм в среде азота (377)	376		
10.14. Сварка латуни марки Л62			
Ручная электродуговая сварка угольным электродом (378). Автоматическая сварка под флюсом (378). Газовая сварка (379)	378		
10.15. Сварка никеля марки НП-2			
Ручная электродуговая сварка (379). Ручная	379		

ОГЛАВЛЕНИЕ

аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом (379)	16.4. Плоские круглые днища	476
10.16. Сварка титана марок ВТ1-00, ВТ1-0 и титановых сплавов марок ОТ4, ОТ4-0 и ОТ4-1 Ручная аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом (380). Механизированная аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом (380). Автоматическая аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом (380). Автоматическая сварка под флюсом (381)	16.5. Плоские прямоугольные днища	481
10.17. Сварка свинца	16.6. Плоские кольцевые днища	483
10.18. Сварка труб с трубными решетками теплообменных аппаратов	16.7. Цилиндрические днища	484
Глава 11. Сварка неметаллических материалов	Глава 17. Рубанки	498
11.1. Сварка винилпласта	Глава 18. Укрепление отверстий	506
11.2. Сварка полиэтилена	Глава 19. Трубы	512
11.3. Сварка полипропилена и сополимера этилена с пропиленом	Глава 20. Обтюрация	529
11.4. Сварка полихлорвинилового пластиката	20.1. Прокладочная обтюрация	532
11.5. Сварка полиизобутилена	20.2. Беспрокладочная обтюрация	536
11.6. Сварка фторопласта-4	20.3. Специальная обтюрация	537
11.7. Сварка кварцевого стекла	Глава 21. Фланцевые соединения	546
11.8. Методы контроля качества сварных швов полимерных материалов	21.1. Болты (шпильки)	570
Глава 12. Пайка металлов и сплавов	21.2. Цельные фланцы	576
12.1. Некоторые особенности пайки металлов и сплавов	21.3. Свободные фланцы	579
12.2. Расчет и конструирование паяных соединений	21.4. Резьбовые фланцы	581
12.3. Расчет и конструирование паяных соединений трубок с трубными решетками теплообменных аппаратов	21.5. Фланцевые бобышки	587
12.4. Прочие соединения деталей, выполняемые мягкой и твердой пайкой	Глава 22. Резьбовые соединения	601
Глава 13. Склеивание конструктивных материалов	Глава 23. Крышки и люки	605
13.1. Справочные данные по технологии склеивания и прочностным характеристикам клеевых соединений	23.1. Фланцевые крышки и люки	608
13.2. Расчет и конструирование клеевых соединений	23.2. Бигельные крышки и люки	627
	23.3. Байонетные крышки и люки	634
	Глава 24. Тарелки	636
	24.1. Массообменные тарелки	640
	24.2. Насадочные тарелки и тарелки	642
	Глава 25. Трубные решетки	642
	25.1. Плоские круглые трубные решетки	643
	25.2. Плоские кольцевые трубные решетки	645
	25.3. Плоские прямоугольные трубные решетки	656
	25.4. Сферические и эллиптические трубные решетки	659
	Глава 26. Компенсаторы	665
	26.1. Волновые компенсаторы	668
	26.2. Сальниковые компенсаторы	680
	Глава 27. Штуцера, вводы и выводы труб	683
	Глава 28. Указатели уровня жидкости	695
	28.1. Указатели непосредственного наблюдения уровня	702
	28.2. Указатели косвенного наблюдения уровня	723
	Глава 29. Опоры аппаратов. Расчет аппаратов на ветровую и сейсмическую нагрузки	725
	29.1. Опоры для вертикальных аппаратов	—
	29.2. Опоры для горизонтальных аппаратов	—
	29.3. Расчет аппаратов на ветровую нагрузку	—
	29.4. Расчет аппаратов на сейсмическую нагрузку	—
	Глава 30. Устройства для строповки аппаратов	—
	Глава 31. Перемешивающие устройства	—
	31.1. Механические перемешивающие устройства	—
	31.2. Пневматические перемешивающие устройства	—
	Глава 32. Приводы механических перемешивающих устройств	—
	32.1. Нормализованные вертикальные приводы механических перемешивающих устройств	—
	32.2. Осевые узлы нормализованных вертикальных приводов	—
	32.3. Расчет вертикальных валов перемешивающих устройств	—
	Приложение	—
	Литература	—

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ ХИМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Глава 14. Общие сведения, положения и рекомендации	401
Глава 15. Обечайки	410
15.1. Цилиндрические обечайки	—
15.2. Коробчатые обечайки	429
15.3. Сферические обечайки	436
15.4. Конические обечайки	438
Глава 16. Днища	439
16.1. Эллиптические днища	—
16.2. Сферические днища	455
16.3. Конические днища	460

ИЗДАНИЕ

ИЗДАТЕЛЬСТВО

ХИМИЧЕСКОГО

ПРОМЫШЛЕННОСТИ

МОСКВА

1988

1988

1988

1988

1988

ПРЕДИСЛОВИЕ

После выхода первого издания справочника в химическом машиностроении произошел значительный технический прогресс. Расширилась номенклатура применяемых конструкционных материалов, усовершенствовалась технология изготовления аппаратов с применением сварки. Институтами НИИхиммаша и заводами отрасли была проделана большая работа по стандартизации и нормализации как отдельных узлов и деталей, так и химической аппаратуры в целом, по уточнению существующих и разработке новых методик прочностных расчетов аппаратов работающих под давлением. Была проведена также систематическая работа по стандартизации и нормализации химического оборудования по координационному плану СЭВ.

При работе над вторым изданием справочника авторы учли все новые достижения в отрасли химического машиностроения и, сохранив в основном прежнюю структуру книги, полностью переработали и расширили содержание всех глав. Некоторые главы написаны заново (гл. 8, 17, 24, 30). В справочнике приведены новые инженерные методы прочностных расчетов ряда узлов и деталей химической аппаратуры, согласующихся с действующими официальными нормами, а также даны методы расчета вертикальных аппаратов колонного типа на ветровую и сейсмическую нагрузки. Ряд предложенных авторами расчетных формул сопровождается их выводами, некоторые формулы упрощены с соответствующими пояснениями.

Технологическо-теплотехнические расчеты аппаратов в справочнике не рассматриваются, так как они освещены в специальной литературе.

Учитывая пожелания конструкторов и проектировщиков, расчетные формулы представлены в виде, позволяющем пользоваться ими как по системе измерений СИ, так и по существующей еще в настоящее время общепринятой системе измерений.

После выхода первого издания справочника авторами были получены отзывы с критическими замечаниями и пожеланиями по улучшению книги, которые были учтены при работе над вторым изданием.

Значительное увеличение объема второго издания справочника по сравнению с первым не позволило авторам включить во второе издание раздел, относящийся к конструированию собственно химических аппаратов. Данный раздел авторы предполагают издать отдельной книгой под названием «Конструирование химической аппаратуры», которая явится дополнением и непосредственным продолжением настоящего справочника.

Разделы первый и второй написаны канд. техн. наук А. Р. Толчинским, раздел третий — канд. техн. наук А. А. Лащинским.

Авторы будут признательны читателям за те замечания и пожелания, которые они получают по второму изданию справочника.

Авторы

ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ОСНОВНЫХ ВЕЛИЧИН

Наименование величины	Обозначение	Единица измерения в СИ
Длина	L, l	м, мм
Ширина	B, b	
Толщина	s	
Высота, глубина	H, h	
Диаметр	D, d	
Диаметр условный	D_y	
Диаметр внутренний	D_v, d_v	
Диаметр наружный	D_n, d_n	
Диаметр отверстия, вала	d	
Диаметр болта, шпильки	d_b	
Диаметр резьбы	d_0	
Диаметр резьбы внутренний	d_1	
Диаметр болтовой окружности	D_b	
Диаметр фланца (наружный)	D_f	
Радиус	R, r	
Межосевое и межцентровое расстояние	A	
Шаг между болтами, трубами, прерывистого сварного шва и т. д.	t	
Эксцентриситет	e	
Катет сварного шва	$h_{ш}$	
Размер фаски	c	
Размер под ключ	S	
Прибавка к номинальному расчетному размеру (суммарная)	C	
То же — на коррозию	C_k	
То же — на эрозию	$C_э$	
То же — на округление	$C_о$	
То же — дополнительная	C_d	

Наименование величины	Обозначение	Единица измерения в СИ
Площадь поперечного сечения, поверхность	F	m^2
Площадь поперечного сечения болта (шпильки) по внутреннему диаметру резьбы	F_b	
Момент сопротивления поперечного сечения	W	m^3
Момент инерции поперечного сечения	J	m^4
Угол (плоский), половина плоского угла при вершине конуса	α	° (градус)
Угол трения	ρ_m	
Объем, емкость	V	m^3
Масса	M, m	кг
Сила, нагрузка (кроме силы тяжести)	P	н, Мн
Сила тяжести	G	
Момент изгибающий	$M_{из}$	н·м, Мн·м
Момент крутящий	M_k	
Давление избыточное: условное	p_y	$n/m^2, Мн/m^2$
расчетное внутреннее	p	
расчетное наружное	p_n	
гидростатическое	$p_{ж}$	
пробное гидравлическое	p_n	
расчетное испытательное внутреннее	$p_{и}$	
расчетное испытательное наружное	$p_{ни}$	
рабочее	p_p	
рабочее внутренней среды	p_c	
рабочее наружной среды	p_{nc}	
допускаемое внутреннее	p_d	
допускаемое наружное	p_{nd}	

ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ОСНОВНЫХ ВЕЛИЧИН

Наименование величин	Обозначение	Единица измерения в СИ	
		Н/м ² , Мн/м ²	Мдж/м ²
Предел прочности при растяжении:	σ_p	при сжатии	Н/м ² , Мн/м ²
	σ_{sp}	при сжатии	
	σ_{up}	при изгибе	
	σ_{kp}	при кручении	
	σ_{cp}	при срезе	
	σ_r	Предел текучести	
	$\sigma_{0.2}$	Основные пределы текучести при пластической деформации 0,2%	
	σ_{pr}	Предел длительной прочностной ползучести	
	σ_{pa}	Предел длительной прочностной ползучести	
	σ_{pu}	Предел ползучести	
Запас прочности по пределу:	n_p	прочности	—
	n_r	текучести	
Запас прочности при растяжении:	n_{pr}	при сжатии	—
	n_{kr}	при кручении	
Ударная вязкость	a_k	Мдж/м ²	%
	δ	Относительное удлинение при растяжении	
Температура: рабочая наружной среды	t_c	рабочая внутренняя среда	°C
	t_{nc}	рабочая наружной среды	
	t_m	рабочая стенки	
	t_{nc}	рабочая наружной поверхности	
	t_{cm}	рабочая внутренней поверхности	
	t_m	рабочая трубки (средняя)	
	t_k	рабочая корпуса (средняя)	
	t_a	Амортизационный срок	
Мощность	N	Вт, кВт	

Наименование величин	Обозначение	Единица измерения в СИ			
		Н/м ² , Мн/м ²	Н/м ² , Мн/м ²		
Расчетное в трубном пространстве:	p_m	расчетное в межтрубном пространстве	Н/м ² , Мн/м ²		
	p_k	расчетное фиктивное в трубном пространстве			
	p_{kf}	расчетное фиктивное в межтрубном пространстве			
	p_{kr}	критическое			
	q	Удельная нагрузка по площади			
	q_a	по линии			
	Напряжение при растяжении:	σ		при растяжении	Н/м ² , Мн/м ²
		σ_c		при сжатии	
		σ_n		при изгибе	
		τ		при кручении	
τ_c		при срезе			
σ_p		эквивалентное			
σ_{min}		нормальное минимальное			
σ_{max}		нормальное максимальное			
τ_{min}		касательное минимальное			
τ_{max}		касательное максимальное			
Допускаемое при срезе:	σ_{cp}	допускаемое при сжатии	Н/м ² , Мн/м ²		
	σ_{sp}	допускаемое при изгибе			
	σ_{up}	допускаемое при кручении			
	τ_{cp}	допускаемое при сжатии			
	τ_{sp}	допускаемое при изгибе			
	τ_{up}	допускаемое при кручении			
	τ_{nc}	допускаемое при сжатии			
	τ_{nc}	допускаемое при изгибе			
	τ_{nc}	допускаемое при кручении			
	τ_{cp}	допускаемое при сжатии			

Наименование величины	Обозначение	Единица измерения в СИ	Наименование величины	Обозначение	Единица измерения в СИ
Скорость вращения: о́кружная	ω	м/сек	Пуассона	μ	
угловая	ω	рад/сек	поправочный	η	
Частота вращения	n	сек ⁻¹ (об/сек)	полезного действия	η_n	
Ускорение силы тяжести	g	м/сек ²	прочности, ослабления	φ	—
Плотность: материала	ρ	кг/м ³	прочности шва	$\varphi_{ш}$	
среды	ρ_c		сопротивления	ζ	
жидкой фазы	$\rho_{ж}$		безразмерный	K, k	
твёрдой фазы	$\rho_{т}$		Количество болтов, шпилек, труб и др.	z	шт.
газа	ρ_g		<p>Примечания:</p> <p>1. В обозначениях, E, σ, τ и т. д. знак на месте показателя степени t (или числовое значение его) означает температуру (°C), при которой задана соответствующая величина (например, σ_t^t или σ_{300}^t означает предел прочности при растяжении при температуре t или 300° C). Отсутствие указанного знака означает, что значение величины дано для 20° C.</p> <p>2. Во всех расчетных формулах, если это особо не оговорено, обозначения и единицы измерения величин приняты согласно данной таблице. В скобках указаны единицы измерения в общепринятой в технической литературе системе измерений. Все примеры расчета выполнены в системе измерений СИ, а в скобках даны результаты в общепринятой в технической литературе системе измерений.</p> <p>3. Одноименные величины в одной формуле обозначаются одинаковыми буквами с цифровым индексом «1», «2», и т. д. (например, s_1, s_2 — обозначение толщины двух различных деталей или двух разных мест в одной детали). В отдельных случаях вместо цифровых индексов применены буквы (например, s_k).</p> <p>4. В отличие от обозначений принятых величин расчетные значения их обозначаются со знаком ' (например, s — принятая толщина, а s' — расчетная толщина).</p>		
Концентрация среды	C_c	%			
Проницаемость среды	Π	мм/год			
Динамический коэффициент вязкости: среды	μ_c	н · сек/м ²			
жидкой дисперсионной среды	$\mu_{ж}$				
жидкой дисперсионной фазы	$\mu_{ф}$				
Коэффициент: теплопроводности	λ	вт/(м · °C)			
линейного расширения	α^t	1/°C			
линейного расширения труб	α_m^t				
линейного расширения корпуса	α_k^t				

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ХИМИЧЕСКОМ
АППАРАТСТРОЕНИИ

Г Л А В А 1

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К КОНСТРУКЦИОННЫМ МАТЕРИАЛАМ
ДЛЯ ХИМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

Специфические условия работы химической аппаратуры, характеризуемые диапазоном давлений от глубокого разрежения (вакуума) до избыточных давлений порядка 250 Мн/м^2 и выше, большим интервалом рабочих температур от -254 до $+1000^\circ\text{C}$ и выше при агрессивном воздействии среды, предъявляют высокие требования к выбору конструкционных материалов проектируемой аппаратуры.

Наряду с обычными требованиями высокой коррозионной стойкости в определенных агрессивных средах к конструкционным материалам, применяемым в химическом аппаратостроении, одновременно предъявляются также требования высокой механической прочности, жаростойкости и жаропрочности, сохранения удовлетворительных пластических свойств при высоких и низких температурах, устойчивости при знакопеременных или повторных однозначных нагрузках (циклической прочности), малой склонности к старению и др.

В расчетах на прочность химической аппаратуры конструктору часто приходится учитывать общую равномерную по поверхности коррозию металлов и сплавов, для чего необходимо знать проникаемость материала в мм/год при заданных рабочих условиях агрессивной среды (концентрация, температура, давление). Она учитывается при выборе величины прибавки на коррозию к рассчитанной толщине стенки аппарата. В ряде случаев при конструировании химической аппаратуры необходимо учитывать также и другие виды коррозионного разрушения материалов. Например, в химических аппаратах, выполненных из кислотостойкой стали и находящихся под постоянным повышенным давлением, при совместном действии коррозионной среды и растягивающих напряжений в ряде случаев наблюдается коррозионное растрескивание металла, происходящее обычно внезапно без видимых изменений материала. Это явление не имеет места при наличии в металле напряжений сжатия. Кроме того, коррозионное растрескивание происходит в небольшом количестве агрессивных сред и зависит от величины давления и температуры. Известно, что ускоренное растрескивание аппаратуры из кислотостойких сталей типа 18 — 8, находящейся под постоянно действующей нагрузкой, имеет место в растворах NaCl , MgCl_2 , ZnCl_2 , LiCl , H_2S , морской воде [29, 195]. Латунь обнаруживают склонность к коррозионному растрескиванию в среде аммиака [29].

Для химической аппаратуры преимущественно применяются конструкционные материалы, стойкие и весьма

стойкие в агрессивных средах. Материалы пониженной стойкости применяются в исключительных случаях, когда доказана целесообразность использования их вместо стойких, но более дорогих и дефицитных материалов.

При выборе материалов для аппаратов, работающих под давлением при низких и высоких температурах, необходимо учитывать, что механические свойства материалов существенно изменяются в зависимости от температуры. Как правило, прочностные свойства металлов и сплавов повышаются при низких температурах и понижаются при высоких.

При статическом приложении нагрузки важными характеристиками для оценки прочности материала являются предел текучести σ_T (или условный предел текучести $\sigma_{0,2}$) и предел прочности σ_B . Упругие свойства металлов характеризуются значениями модуля упругости E и коэффициентом Пуассона μ . Указанные характеристики являются основными при расчетах на прочность деталей аппаратуры, работающей под давлением при низких (от -40 до -254°C), средних (от $+200$ до -40°C) и высоких (выше $+200^\circ\text{C}$) температурах.

Для работы при низких температурах по нормам Госгортехнадзора [184] следует выбирать металлы, у которых порог хладоломкости лежит ниже заданной рабочей температуры. Однако в химической промышленности на протяжении многих лет безаварийно эксплуатируется при рабочих температурах до -40°C большое количество аппаратов, трубопроводов, арматуры, насосов и другого оборудования, изготовленных из углеродистой стали обыкновенного качества и из серого или ковкого чугуна, т. е. из материалов, имеющих ударную вязкость при указанной температуре менее $0,2 \text{ Мдж/м}^2$.

Поэтому при выборе металла для работы при низких температурах следует исходить не только из величины ударной вязкости, но также учитывать величину и характер приложенной нагрузки (статическая, динамическая, пульсирующая), наличие и характер концентраторов напряжений и чувствительность металла к надрезам, начальные напряжения в конструкции, способ охлаждения металла (за счет содержащегося в аппарате хладагента или за счет окружающей среды).

При статическом приложении нагрузки в ряде случаев допускается изготовление аппаратов из металлов, приобретающих хрупкость при пониженных рабочих температурах, но не имеющих дефектов, нарушающих однородность структуры и способствующих концентрации напряжений. Технология изготовления аппаратов из

таких материалов должна исключать возможность возникновения высоких начальных напряжений в конструкции. К таким аппаратам можно отнести свободно опирающиеся емкости для жидких и газообразных продуктов, содержащихся в них под небольшим избыточным давлением, металлоконструкции неотвественного назначения и др.

При динамическом приложении нагрузки кроме указанных выше характеристик необходимо учитывать также и величину ударной вязкости α_u . Для многих углеродистых и легированных сталей ударная вязкость при низких температурах (обычно ниже -40°C) резко понижается, что исключает применение этих материалов в таких условиях. Ударная вязкость для большинства цветных металлов и сплавов (медь и ее сплавы, алюминий и его сплавы, никель и его сплавы), а также хромоникелевых сталей аустенитного класса при низких температурах, как правило, уменьшается незначительно и пластические свойства этих материалов сохраняются на достаточно высоком уровне, что и позволяет применять их при рабочих температурах порядка до -254°C .

Для оборудования, подверженного ударным или пульсирующим нагрузкам и предназначенного для работы при низких температурах, следует применять металлы и сплавы с ударной вязкостью не ниже $0,2 \text{ Мдж/м}^2$ при рабочих температурах. Для деталей, имеющих концентраторы напряжений (болты, шпильки), рекомендуются материалы, у которых при рабочей температуре величина ударной вязкости не менее $0,4 \text{ Мдж/м}^2$.

При высокой температуре наблюдается значительное снижение основных показателей, характеризующих прочностные свойства металлов и сплавов. Кроме того, поведение металлов под нагрузкой при высоких температурах резко отличается от их поведения при нормальной температуре внутри производственных помещений. Предел прочности σ_b и предел текучести σ_T зависят от времени пребывания под нагрузкой и скорости нагружения, так как с повышением температуры металл из упругого состояния переходит в упруго-пластическое и под нагрузкой непрерывно деформируется (явление ползучести). Температуры, при которых начинается ползучесть, у разных металлов различны. Для углеродистых сталей обычного качества ползучесть наступает уже при температурах выше 375°C , для низколегированных сталей — при температурах выше 525°C , для жаропрочных — при еще более высоких температурах.

С увеличением времени пребывания металла под нагрузкой характеристики прочности уменьшаются тем значительнее, чем выше температура эксплуатации оборудования. Поэтому при расчете на прочность аппаратов, работающих длительное время при высоких температурах, допускаемые напряжения определяют по отношению к условному пределу ползучести $\sigma_{пл}$ или по пределу длительной прочности $\sigma_{дл}$. Для химической аппаратуры допускаемая скорость ползучести принимается $\leq 10^{-7} \text{ мм/мм} \cdot \text{ч}$ ($10^{-6} \%$ в год), для крепежных деталей — $\leq 10^{-9} \text{ мм/мм} \cdot \text{ч}$ ($10^{-7} \%$ в год) [15].

Понижение механических свойств при высоких температурах обусловлено происходящими в металле структурными и фазовыми превращениями. К структурным изменениям такого рода можно отнести явление графитизации углеродистой и молибденовой сталей, образование ферритной фазы в хромоникелевых сталях типа 18—8 и др., присущие последним при длительной работе металла в условиях высокой температуры. В ряде случаев стабильность структуры стали в течение длительного срока службы оборудования удается обеспечить путем термической обработки стали. В большинстве случаев для химической аппаратуры, предназначенной для работы при высоких температурах, применяются специальные марки жаро-

прочных сталей, характеризующихся достаточной механической прочностью и стабильностью структуры при высоких температурах. Наряду с жаропрочностью эти металлы должны обладать жаростойкостью, т. е. способностью противостоять коррозионному воздействию среды в условиях длительной работы материала при высоких температурах. При непрерывном процессе окисления образования рыхлого сечения металла уменьшается, что приводит к повышению рабочего напряжения и ухудшению условий безопасной эксплуатации оборудования.

Некоторые детали химической аппаратуры (болты, шпильки, пружины и др.) вследствие повышения пластичности металла при высоких температурах работают в условиях постепенного снижения напряжений, вызванных первоначально приложенной нагрузкой (затягом), при сохранении геометрических размеров (явление релаксации напряжений). Расчет таких деталей следует производить на предварительную нагрузку (затяг), обеспечивающую на заданный период времени остаточную нагрузку, необходимую для нормальной работы конструкции.

При выборе конструкционных материалов для химической аппаратуры необходимо также учитывать физические свойства материалов (теплопроводность, линейное температурное расширение), а также некоторые другие соображения технико-экономического порядка, такие, как технология изготовления аппаратуры, дефицитность и стоимость материала, наличие стандарта или утвержденных технических условий на его поставку, освоенность материала промышленностью и др.

Создаваемая конструкция химической аппаратуры должна быть не только технически совершенной, отвечающей всем требованиям современного уровня машиностроения, но и технологичной в изготовлении, экономичной. Так как стоимость изделия в значительной мере определяется стоимостью примененных для его изготовления материалов, то при всех прочих равных условиях предпочтение должно быть отдано более дешевым и менее дефицитным материалам.

В химическом аппаратостроении основным способом выполнения металлических неразъемных соединений является сварка и в ряде случаев пайка. Хорошая свариваемость металлов является одним из основных и необходимых условий, определяющих пригодность материала для создаваемой конструкции. Необходимо также стремиться к максимально возможному, без ущерба для конструкции, сокращению номенклатуры применяемых марок материалов и типоразмеров.

Аппаратуру не рекомендуется изготавливать целиком из дорогостоящих и дефицитных материалов. Технико-экономическая нецелесообразность применения монолитных толстолистовых высоколегированных сталей и цветных металлов не вызывает сомнения. Коррозии обычно подвержена лишь внутренняя поверхность аппаратов. Для обеспечения амортизационного срока службы аппарата достаточно слой коррозионностойкого металла толщиной в несколько миллиметров. Таким образом, представляется целесообразным изготавливать аппаратуру для активных коррозионных сред из двухслойного проката, облицовочный слой которого может быть выполнен из требуемого коррозионностойкого металла или сплава. Например, вместо монолитной толстолистовой нержавеющей стали X18H10T или X17H13M2T, целесообразно применять двухслойную листовую сталь ВМСт.Зсп+X18H10T или 20K+X17H13M2T.

В настоящее время металлургической промышленностью освоен ряд новых марок высоколегированных сталей с малым содержанием никеля, которые и рекомендуется применять в химическом аппаратостроении в качестве заменителей дефицитных хромоникелевых сталей

типа 18—8 или сталей с большим содержанием никеля. К таким сталям относятся 0X21H5T, 1X21H5T, 0X21H6M2T, X14Г14H3T и др.

Для активных коррозионных сред наиболее целесообразно изготовление химической аппаратуры из неметаллических материалов: природных кислотоупоров, керамики, фарфора, стекла, углеродистых материалов, пластических масс (фаолита, полиэтилена, винипласта и др.) или из углеродистой стали, покрытой кислотостойкими эмалями, резиной или пластмассами (для соответствующих сред, давления и температуры).

Химическую аппаратуру на среднее давление для некоррозионных сред целесообразно изготавливать из высокопрочных марок низколегированных сталей, применение которых обеспечивает сокращение массы конструкции на 20—30% по сравнению с углеродистыми сталями.

В первом разделе «Справочника» (гл. 1—9) приводятся данные о материалах, преимущественно применяемых в химическом аппаратостроении. Число рекомендуемых марок металлических и неметаллических конструкционных материалов сведено до минимума, а рекомендуемый сортамент листового и сортового проката, труб и других полуфабрикатов в значительной мере ограничен, что согласуется с практикой ведущих заводов химического машиностроения и основными направлениями при нормализации конструкционных материалов.

Таким образом, при конструировании химической аппаратуры к конструкционным материалам должны предъявляться следующие основные требования:

1) достаточная общая химическая и коррозионная стойкость материала в агрессивной среде с заданными концентрацией, температурой и давлением, при которых осуществляется технологический процесс, а также стойкость против других возможных видов коррозионного разрушения (межкристаллитная коррозия, электрохимическая коррозия сопряженных металлов в электролитах, коррозия под напряжением и др.);

2) достаточная механическая прочность при заданных давлении и температуре технологического процесса, с учетом специфических требований, предъявляемых при испытании аппаратов на прочность, герметичность и т. п. и в эксплуатационных условиях при действии на аппараты различного рода дополнительных нагрузок (ветровая нагрузка, прогиб от собственного веса и т. д.);

3) наилучшая способность материала свариваться с обеспечением высоких механических свойств сварных соединений и коррозионной стойкости их в агрессивной среде, обрабатываться резанием, давлением, подвергаться сгибу и т. п.;

4) низкая стоимость материала, недефицитность и освоенность ее промышленностью. Необходимо стремиться применять двухслойные стали, неметаллические материалы, стали с покрытиями из неметаллических материалов. Номенклатура применяемых материалов как по наименованию, маркам, так и по сортаменту должна быть минимальной с учетом ограничений, предусматриваемых ведомственными нормами и действующими на заводах-изготовителях инструкциями.

ЧЕРНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

2.1. ЧЕРНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ,
ПРЕИМУЩЕСТВЕННО ПРИМЕНЯЕМЫЕ
В ХИМИЧЕСКОМ АППАРАТОСТРОЕНИИ

Стали углеродистые (обыкновенного качества), низколегированные конструкционные (углеродистые качественные, легированные), высоколегированные (коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные), чугуны (серые, щелочестойкие) и сплавы со специальными свойствами являются основными конструкционными материалами для сварной, ковальной и литой химической аппа-

ратуры самых различных классов, типов и химико-технологического назначения.

В табл. 2.1—2.7 приводятся рекомендации по выбору марок черных металлов и сплавов для сварной, ковальной и литой химической аппаратуры соответственно ее назначению и рабочим параметрам технологического процесса (давление, температура), а также для трубопроводов химических производств. При выборе черных металлов и сплавов для агрессивных сред необходимо дополнительно учитывать коррозионную стойкость их в заданной среде (см. рекомендации в гл. 9).

Таблица 2.1

Стали, рекомендуемые для сварной аппаратуры и для трубопроводов низкого и среднего давлений химических производств [30, 36, 37, 40, 41, 42, 111, 138, 164, 209, 210]

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение	
		$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	$R_u, \text{Мн/м}^2$, не более			
Сталь углеродистая обыкновенного качества						
ВМСт.Зкп (ГОСТ 380—60)	Сталь тонколистовая (ГОСТ 501—58)	От 10 до 200	1,6	На растяжение и холодный загиб по ГОСТу 380—60 полностью	Обечайки, днища, фланцы и другие детали, изготавливаемые из листовой стали толщиной ≤ 16 мм, для аппаратуры, не имеющей внутренней жароупорной футеровки; детали внутренних устройств аппаратов; плоские фланцы для трубопроводов	
	Сталь толстолистовая (ГОСТ 500—58)	От 201 до 350		Те же и дополнительно на ударную вязкость после механического старения по ГОСТу 7268—67 полностью		
	Сталь сортовая (ГОСТ 535—58)	От +9 до -15	0,07	Те же и дополнительно на ударную вязкость при температуре -15°C		
	Трубы электросварные прямшовные (ГОСТ 10706—63, гр. А)		От 10 до 200	1,6		По ГОСТу 10706—63 гр. А и гидрониспытание каждой трубы давлением, равным 1,5 рабочего давления. Проверка механических свойств сварного соединения у 10% труб одной партии согласно п. 72 нормами МН 72—62. Просвечивание сварного шва каждого корпуса, изготовленного из электросварных труб, согласно п. 275 нормами МН 72—62
			От 201 до 350			Те же и дополнительно каждая труба проверяется на ударную вязкость после механического старения по ГОСТу 7268—67
			От +9 до -15	0,07		Те же и дополнительно каждая труба проверяется на ударную вязкость при температуре -15°C

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	$R_u,$ $Mn/M^2,$ не более		
ВМСт.3сп (ГОСТ 380—60)	Сталь тонколи- стовая (ГОСТ 501—58)	От 0 до 200	5	На растяжение, холодный загиб и ударную вязкость по ГОСТу 380—60 от партии проката	Обечайки, днища, фланцы и другие детали аппаратов; плоские фланцы для трубо- проводов
		От 201 до 400		На растяжение, холодный загиб и ударную вязкость после механического старе- ния по ГОСТу 380—60 от партии проката	
	Сталь толстоли- стовая (ГОСТ 500—58)	От 401 до 425		Те же, но полистно или для каждого прутка	
	Сталь сортовая (ГОСТ 535—58)	От —21 до —40		На растяжение, холодный загиб и на ударную вязкость при температуре —40° С по- листно или для каждого прутка	
Ст.3сп ($\frac{СТУ62}{01} 26-62$)	Сталь толстоли- стовая толщиной 62—160 мм ($\frac{СТУ62}{01} 26-62$)	От —40 до +425		На растяжение, холодный загиб и на ударную вяз- кость при нормальной тем- пературе и при температуре —40° С по $\frac{СТУ62}{01} 26-62$ полистно	
ВМСт.3сп (ГОСТ 380—60)	Трубы электро- сварные прямо- шовные (ГОСТ 10706—63, гр. А)	От —20 до +350	1,6	По ГОСТу 10706—63, гр. А и гидротестирование каж- дой трубы давлением, рав- ным 1,5 рабочего давления. Проверка механических свойств сварного соединения у 10% труб одной партии согласно п. 72 нормал МН 72—62. Просвечивание сварного шва каждого корпуса, изго- товленного из электросвар- ных труб, согласно п. 275 нормал МН 72—62.	Обечайки корпусов, лю- ков и лазов аппаратов, па- трубки и другие детали, из- готавливаемые из труб; трубо- проводы химических произ- водств
		От 351 до 400		Те же, но проверка меха- нических свойств сварного соединения производится для каждой трубы	
		От 401 до 425		Те же и дополнительно проверка механических свойств основного металла для каждой трубы	
		От —21 до —40		Те же и дополнительно проверка ударной вязкости основного металла и сварно- го шва при температуре —40° С	

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{ст}, ^\circ C$	$R_{н},$ Мн/м ² , не более		
ВМСт.5сп (ГОСТ 380—60)	Сталь толстоли- стовая (ГОСТ 500—58)	От —20 до +400	5	На растяжение, холод- ный загиб и на ударную вяз- кость по ГОСТу 380—60 от партии проката	Фланцы, трубные решет- ки и другие детали аппара- тов, не требующие сварки; свободные и резьбовые фланцы трубопроводов
		От 401 до 425		Те же, но полностью	
		От —21 до —30		Те же и дополнительно на ударную вязкость при тем- пературе —30° С полностью	
Ст.5 (СТУ62 01 26—62)	Сталь толстоли- стовая толщиной 62—160 мм (СТУ62 01 26—62)	От —20 до +425		На растяжение, холодный загиб и на ударную вязкость при нормальной температу- ре и при температуре —30° С по СТУ62 01 26—62 полностью	
ВМСт.5сп (ГОСТ 380—60)	Сталь сортовая (ГОСТ 535—58)	От —20 до +400	5	На растяжение, холодный загиб и ударную вязкость по ГОСТу 380—60	Валы мешалок, оси и дру- гие детали внутренних уст- ройств аппаратов, не требу- ющие сварки. Шпильки, болты, винты для аппаратуры неответ- ственного назначения
		От —21 до —30		Те же и дополнительно на ударную вязкость при темпе- ратуре —30° С для каждого пругка	
	Поковки (ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП25)	От —20 до +400		На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок	Фланцы, трубные решетки и другие детали, не требу- ющие сварки
		От —21 до —30		Те же и дополнительно на ударную вязкость при тем- пературе —30° С от партии поковок	
Сталь углеродистая качественная конструкционная					
10 (ГОСТ 1050—60)	Трубы (ГОСТ 1060—53)	От —40 до +200	10	По ГОСТу 1060—53 от пар- тии проката	Трубные пучки витых теп- лообменных аппаратов
10; 20 (ГОСТ 1050—60)	Трубы (ГОСТ 550—58)	От —40 до +450	6,4	По ГОСТу 8733—66 от партии проката	Трубные пучки нормали- зованных кожухотруб- ных теплообменников
	Трубы (ЧМТУ/ВНИТИ 694—65)			По ЧМТУ/ВНИТИ 694—65 от партии проката	

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{cm}, ^\circ C$	$R_{y, \text{не более}}$ Мн/м^2		
20 (ГОСТ 1050-60)	Трубы электро- сварные (ГОСТ 10705-63, гр. А)	От -30 до +400	2,5	На раздачу, сплющивание, бортование и загиб по ГОСТу 10705-63 и гидротестирование каждой трубы полутонным давлением от рабочего	Трубные пучки теплообменных аппаратов, трубные секции, змеевики, патрубки и другие детали аппаратов, изготавливаемые из труб; трубопроводы химических производств
	Трубы стальные бесшовные (ГОСТы 8733-66 и 8731-66)	От -30 до +450		10	По ГОСТам 8733-66 и 8731-66 с определением предела текучести. Гидравлическое испытание каждой трубы; на раздачу (для $s \leq 8 \text{ мм}$); на сплющивание (для $s \leq 10 \text{ мм}$); на загиб (по требованию чертежа); проверка на макроструктуру (по требованию чертежа)	Трубные пучки теплообменных аппаратов, трубные секции, змеевики, патрубки и другие детали аппаратов, изготавливаемые из труб; трубопроводы химических производств
		От 451 до 475	Те же, но для каждой трубы		
		От -31 до -40	Те же и дополнительно на ударную вязкость при температуре -40°C		
	Трубы стальные (МРТУ 14-4-21-67)	От -40 до +450	10	По МРТУ 14-4-21-67 от партии проката	Трубопроводы химических производств
	Сталь толстолистовая (ГОСТ 1577-53)	От -30 до +450	10	На растяжение и холодный загиб по ГОСТу 1577-53 полностью	Плоские фланцы аппаратов и трубопроводов, трубные решетки и другие детали; днища плоские и штампованные отбортованные для трубопроводов
		От -31 до -40		Те же и дополнительно на ударную вязкость при температуре -40°C	
	Сталь сортовая (ГОСТ 1050-60)	От -30 до +450	10	На растяжение, ударную вязкость, горячую и холодную осадку по ГОСТу 1050-60 от партии проката	Фланцы воротниковые штуцеров аппаратов и трубопроводов $D_y \leq 80 \text{ мм}$ и на $R_y \leq 2,5 \text{ Мн/м}^2$. Детали внутренних устройств аппаратов
		От -31 до -40		Те же и дополнительно на ударную вязкость при температуре -40°C	

Продолжение табл. 2.1

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{cm}, ^\circ C$	$p_{y, Mh/m^2}$ более		
(ГОСТ, ТУ) 1050-60 20	Поковки (ГОСТ 8479-57, гр. II-K1122)	От -30 до +450	0,07	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринеллю по ГОСТу 8479-57, гр. II от партии поковок	Фланцы воротниковые корпусов и штуцеров аппаратов
		От -31 до -40			
(ГОСТ, ТУ) 1050-60 25, 30	Поковки (ГОСТ 8479-57 гр. IV-K125)	От -30 до +450	10	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринеллю по ГОСТу 8479-57, гр. IV от партии поковок	Трубные решетки, кованые резьбовые фланцы и другие высоконагруженные детали аппаратов
		От -30 до +450			
(ГОСТ, ТУ) 1050-60 35	Поковки (ГОСТ 8479-57 гр. IV-K128)	От -30 до +450	10	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринеллю по ГОСТу 8479-57, гр. IV от партии поковок	Зубчатые колеса, закаленные втулки и цапфы и другие детали, подверженные высокой ударной нагрузке на смятие и среза
		От -30 до +375			
(ГОСТ, ТУ) 1050-60	Сталь сортовая (ГОСТ 1050-60) гранная	От -30 до +450	10	На растяжение, ударную вязкость, горячую и холодную осадку по ГОСТу 1050-60 от партии проката	Фланцы для аппаратов и трубопроводов ответственного назначения
		От -30 до +450			
(ГОСТ, ТУ) 1050-60	Сталь сортовая (ГОСТ 1050-60) гранная	От -30 до +450	10	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринеллю по ЧМТУ 3024-56 от партии трубных заготовок	Отводы кругозогнутые и переходы для трубопроводов химически производств
		От -30 до +450			
(ГОСТ, ТУ) 1050-60	Поковки (ГОСТ 8479-57 гр. IV-K1122)	От -30 до +450	10	На растяжение с определением σ_T , ударную вязкость и на твердость по Бринеллю по ГОСТу 8479-57, гр. IV от партии поковок. Ультразвуковая дефектоскопия (по требованию заказчика)	Фланцы воротниковые корпусов и штуцеров аппаратов
		От -31 до -40			
(ГОСТ, ТУ) 1050-60	Поковки (ГОСТ 8479-57 гр. IV-K1122)	От -30 до +450	10	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринеллю по ЧМТУ 3024-56 от партии трубных заготовок	Фланцы воротниковые корпусов и штуцеров аппаратов
		От -31 до -40			
(ГОСТ, ТУ) 1050-60	Сталь сортовая (ГОСТ 1050-60) гранная	От -30 до +450	10	На растяжение, ударную вязкость, горячую и холодную осадку по ГОСТу 1050-60 от партии проката	Фланцы для аппаратов и трубопроводов ответственного назначения
		От -30 до +375			

Продолжение табл. 2.1

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	$R_{\mu},$ Мн/мм ² , не более		
40 (ГОСТ 1050—60)	Поковки (ГОСТ 8479—57 гр. IV—КП28)	От —30 до +200	10	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринеллю по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок	Зубчатые колеса, валы, оси, кованные фланцы, закаленные цапфы и другие детали, подверженные высокой удельной нагрузке на смятие и срез
	Сталь сортовая круглая и шестигранная (ГОСТ 1050—60)			На растяжение, ударную вязкость, горячую и холодную осадку по ГОСТу 1050—60 от партии проката	Упорные винты, штифты, шпонки, болты и шпильки для аппаратов и трубопроводов ответственного назначения
15К, 20К (ГОСТ 5520—62)	Сталь листовая (ГОСТ 5520—62)	От —20 до +200	5	На растяжение, холодный загиб и на ударную вязкость по ГОСТу 5520—62 от партии проката	Обечайки, днища, плоские фланцы корпусов аппаратов, штуцеров и трубопроводов, трубные решетки теплообменных аппаратов и другие детали аппаратов ответственного назначения
		От 201 до 400		На растяжение, холодный загиб и на ударную вязкость после механического старения по ГОСТу 5520—62 от партии проката	
		От —20 до +200	10	На растяжение, холодный загиб и на ударную вязкость по ГОСТу 5520—62 полистно	
		От 201 до 475		На растяжение, холодный загиб и на ударную вязкость после механического старения по ГОСТу 5520—62 полистно	
От —21 до —40		На растяжение, холодный загиб и на ударную вязкость при температуре —40°С по ГОСТу 5520—62 полистно			
Сталь низколегированная					
16ГС (ЗН), 09Г2С (М) (ГОСТ 5520—62)	Сталь листовая (ГОСТ 5520—62)	От —40 до +400	5	По ГОСТу 5520—62 от партии проката	Обечайки, днища, плоские фланцы корпусов аппаратов, штуцеров и трубопроводов, трубные решетки теплообменных аппаратов и другие детали аппаратов ответственного назначения
		От 401 до 475	10	По ГОСТу 5520—62 полистно На растяжение, холодный загиб и на ударную вязкость после механического старения по ГОСТу 5520—62 полистно	

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	$R_{\text{у}}, \text{Мн/м}^2$, не более		
09Г2С (М) (ГОСТ 5520—62)	Сталь листовая (ЧМТУ 1-172—67)	От —41 до —70		На растяжение, холодный загиб и на ударную вязкость при температуре —70° С по ЧМТУ 1-172—67 полистно	Обечайки, днища, плоские фланцы корпусов аппаратов, штуцеров и трубопроводов, трубные решетки теплообменных аппаратов и другие детали аппаратов ответственного назначения
	Трубы бесшовные (ЧМТУ/ УкрНИТИ 574—64)			По ЧМТУ/Укр.НИТИ 574—64 от партии проката	Патрубки штуцеров аппаратов. Трубопроводы химических производств
10Г2С1 (МК) (ГОСТ 5520—62)	Сталь листовая (ГОСТ 5520—62)	От —40 до +475		По ГОСТу 5520—62 полистно. Для температур выше 400° С дополнительно на ударную вязкость после механического старения	Обечайки, днища, плоские фланцы корпусов аппаратов, штуцеров и трубопроводов, трубные решетки теплообменных аппаратов и другие детали аппаратов ответственного назначения
	Сталь листовая (ГОСТ 1577—53)			По ГОСТу 1577—53 полистно. Для температур выше 400° С дополнительно на ударную вязкость после механического старения	
10Г2 (ГОСТ 4543—61)	Трубы (ГОСТ 8733—66)	От —40 до +200	10	По ГОСТу 8733—66 и дополнительно гидротестирование каждой трубы, испытание на раздачу по нормам для труб из стали 20 (ГОСТ 8733—66)	Трубные пучки витых теплообменных аппаратов
	Трубы (ГОСТы 8733—66 и 8731—66)			По ГОСТам 8733—66 и 8731—66 и дополнительно на ударную вязкость при температуре —70° С от партии проката	Трубные пучки теплообменных аппаратов, трубные секции, патрубки штуцеров и другие детали аппаратов ответственного назначения; трубопроводы химических производств
	Трубы (ГОСТ 550—58)	От —41 до —70		По ГОСТу 550—58 и дополнительно на ударную вязкость при температуре —70° С от партии проката	
	Поковки (ГОСТ 8479—57 гр. IV—КП22)			На растяжение с определенным σ_t , ударную вязкость при температуре —70° С и на твердость по Бринелю по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок. Ультразвуковая дефектоскопия и проверка на отсутствие флокенов (по требованию чертежа).	Фланцы воротниковые корпусов и штуцеров аппаратов ответственного назначения и фланцы воротниковые трубопроводов. Поковки должны быть в состоянии нормализации

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	$R_{\text{н}}, \text{Мн/м}^2$, не более		
10Г2 (ГОСТ 4543—61)	Штамповки из трубных загото- вок по МН 2921—62	От —41 до —70	10	На растяжение, ударную вязкость при температуре —70°С и на твердость по Бринелю по ЧМТУ 3024—56 от партии трубных загото- вок	Крутоизогнутые отводы и переходы для трубопрово- дов химических производств
Сталь легированная					
20Х (ГОСТ 4543—61)	Поковки (ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП60А)	От —40 до +450	10	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок	Стяжные кольца плаваю- щих головок теплообменных аппаратов и подогревателей
12МХ (ГОСТ 10500—63)	Сталь листовая толщиной 4—60 мм (ЧМТУ 5759—57)	От —40 до +540		На растяжение, холодный загиб и ударную вязкость по ЧМТУ 5759—57 полистно	Обечайки, днища, фланцы, трубные решетки и другие детали нефтехимической ап- паратуры ответственного назначению
12МХ (ЧМТУ/ ЦНИИЧМ 957—63)	Сталь листовая толщиной 20—125 мм (ЧМТУ/ЦНИИЧМ 957—63)			На растяжение, холодный загиб и ударную вязкость по ЧМТУ/ЦНИИЧМ 957—63 полистно	
12ХМ (ЧМТУ 5759—57)	Сталь листовая толщиной 4—60 мм (ЧМТУ 5759—57)	От —40 до +560		На растяжение, холодный загиб и ударную вязкость по ЧМТУ 5759—57 полистно	
12ХМ (ЧМТУ/ ЦНИИЧМ 957—63)	Сталь листовая толщиной 20—125 мм (ЧМТУ/ЦНИИЧМ 957—63)			На растяжение, холодный загиб и ударную вязкость по ЧМТУ/ЦНИИЧМ 957—63 полистно	
15ХМ (ГОСТ 4543—61)	Поковки (ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП28С)			На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок	Воротниковые фланцы корпусов и штуцеров аппа- ратов, трубные решетки и другие детали химической аппаратуры
12Х1МФ (ГОСТ 10500—63)	Трубы (ГОСТ 550—48)	От —40 до +450		На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 550—58 от партии проката	Трубные пучки, змеевики, патрубки и другие детали аппаратов, изготовленные из труб.
	Трубы (МРТУ 14-4-21—67)	От 451 до 560		По МРТУ 14-4-21—67 от партии проката	Трубопроводы химических производств. Отводы гнутые и сварные из секторов, шту- церы, тройники сварные для трубопроводов

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{ст}$, °C	$R_{m,не}$ Мн/м ² , более		
12Х1МФ (ГОСТ 10500—63)	Штамповки из трубных заготовок по ТУ заводов- изготовителей	От —40 до +560	10	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ЧМТУ/ ЦНИИЧМ 1307—65 от пар- тии трубных заготовок	Крутоизогнутые отводы и переходы для трубопрово- дов химических производств
	Сталь сортовая (ГОСТ 10500—63)			На растяжение, ударную вязкость, горячую и холод- ную осадку по ГОСТу 10500—63 от партии проката	Детали внутренних уст- ройств аппаратов
	Поковки (МТУ 13—60, КП25)			На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю от партии поковок	Тройники и штуцера для трубопроводов химических производств
50ХФА (ГОСТ 2052—53)	Проволока (ГОСТ 3704—47)	От —100 до +420		На растяжение и на твер- дость по Роквеллу по ГОСТу 3704—47 от партии прово- локи	Пружины и другие высо- конагруженные детали аппа- ратов
Сталь высоколегированная коррозионностойкая, жаростойкая и жаропрочная					
X5 (ГОСТ 5632—61)	Сталь толстоли- стовая (ЧМТУ 1-414—68)	От —40 до +425	10	На растяжение, холодный загиб и на ударную вязкость по ЧМТУ 1-414—68 поли- стно	Обечайки, днища, фланцы и другие детали аппаратуры, работающей в серосодержа- щих средах. Сварные из ли- стовой стали штампованные крутоизогнутые отводы, пе- реходы и тройники для тру- бопроводов, работающих в в серосодержащих средах
	Сталь сортовая (ГОСТ 5949—61)			На растяжение, ударную вязкость, горячую и холод- ную осадку по ГОСТу 5949—61 от партии проката	
	Трубы (ГОСТ 550—58)			На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 550—58 от партии проката	Трубные пучки, змеевнки, патрубки и другие детали аппаратуры, работающей в серосодержащих средах. Трубопроводы, отводы, гнутые из труб и сваренные из секторов, тройники свар- ные из труб для трубопрово- дов, работающих в серосо- держащих средах
	Штамповки из трубных заготовок по ТУ заводов- изготовителей			На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ЧМТУ/ЦНИИЧМ 1044—63 от партии трубных заготовок	Крутоизогнутые отводы и переходы для трубопрово- дов, работающих в серосо- держащих средах
	Поковки по Н 911—59			На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок	Тройники и штуцера для трубопроводов, работающих в серосодержащих средах

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{ст}, ^\circ C$	$\rho_{у, не\ более}$ Мн/м ²		
1Х8ВФ (ГОСТ 5632-61)	Сталь толстолистовая (ЧМТУ 1-414-68)	От -40 до +550	10	На растяжение, холодный загиб и на ударную вязкость по ЧМТУ 1-414-68 от партии проката	Обечайки, днища, фланцы и другие детали аппаратуры, работающей в серосодержащих средах. Фланцы плоские, сваренные из листовой стали, штампованные крутоизогнутые отводы, переходы и тройники для трубопроводов, работающих в серосодержащих средах
Х5М (ГОСТ 5632-61)	Сталь толстолистовая (ГОСТ 7350-66, гр. А)			На растяжение, холодный загиб и на ударную вязкость по ГОСТу 7350-66 от партии проката	
Х5М; Х5ВФ (ГОСТ 5632-61)	Сталь сортовая (ГОСТ 10500-63)			На растяжение, ударную вязкость, горячую осадку и на длительную прочность по ГОСТу 10500-63 от партии проката	
Х8 (МРТУ 2-04-8-62)	Трубы (МРТУ 2-04-8-62)	От -40 до +420	10	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 550-58, на раздачу и сплющивание по МРТУ 2-04-8-62 от партии проката	Трубные пучки нормализованных кожухотрубных теплообменных аппаратов, работающих в серосодержащих средах
Х5М (ГОСТ 5632-61)	Трубы (ГОСТ 550-58)	От -40 до +550		На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 550-58 от партии проката	Змеевики, патрубки штуцеров и другие детали аппаратуры, работающей в серосодержащих средах. Трубопроводы, отводы, гнутые из труб и сварные из секторов, тройники, сваренные из труб для трубопроводов, работающих в серосодержащих средах
Х5ВФ (ГОСТ 5632-61)	Трубы (ГОСТ 550-58)			На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 550-58, на раздачу и на сплющивание по ЧМТУ/ВНИТИ 623-64 от партии проката	
1Х8ВФ (ГОСТ 5632-61)	Трубы (ЧМТУ/ВНИТИ 623-64)			На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 550-58 от партии проката	
Х5М (ГОСТ 5632-61)	Трубы со специальной термообработкой (ЧМТУ/Укр. НИТИ 539-64)	От -40 до +550		На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 550-58 от партии проката	Крутоизогнутые отводы и переходы для трубопроводов, работающих в серосодержащих средах
Х5М; Х5ВФ; 1Х8ВФ (ГОСТ 5632-61)	Штамповки из трубных заготовок по ТУ заводоизготовителей	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ЧМТУ/ЦНИИЧМ 1044-63 или по ЧМТУ/ЦНИИЧМ 1153-64 от партии трубных заготовок			
Х5М; Х5ВФ (ГОСТ 5632-61)	Поковки по Н 911-59			На растяжение с определением σ_b , σ_T , δ и ψ , на ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 8479-57, гр. IV от партии поковок	Тройники и штуцера для трубопроводов, работающих в серосодержащих средах. Поковки должны быть в улучшенном или отожженном состоянии (состояние металла указывается на чертежах)

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение	
		$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	$\frac{p_{у}}{Mn/M^2}$, не более			
X28H4 (ЧМТУ 5790—57)	Сталь толстоли- стовая (ЧМТУ 5790—57)	От 0 до 700		На растяжение и холод- ный загиб по ЧМТУ 5790—57 от партии проката	Обечайки, днища, фланцы и другие детали аппаратов, не подлежащих контролю Госгортехнадзора и предна- значенных для работы со сре- дами средней агрессивности в условиях газовой корро- зии в окислительной атмос- фере и в атмосфере топочных газов с повышенным содер- жением серы	
1X17H2 (ГОСТ 5632—61)	Сталь тонколи- стовая (ГОСТ 5582—61, гр. II—а)	От —70 до +450	0,07	На растяжение и холод- ный загиб по ГОСТу 5582—61 от партии проката	Обечайки, днища, фланцы и другие детали химической аппаратуры, не подлежа- щей контролю Госгортех- надзора и предназначенной для работы со средами малой и средней агрессивности	
	Сталь толстоли- стовая (ГОСТ 7350—66, гр. А)			На растяжение и холод- ный загиб по ГОСТу 7350—66 от партии проката		
	Сталь сортовая (ГОСТ 5949—61)			На растяжение, ударную вязкость, горячую и холод- ную осадку по ГОСТу 5949—61 от партии проката		
X16H6 (ЧМТУ/ ЦНИИЧМ 822—62)	Сталь тонколи- стовая (ЧМТУ/ЦНИИЧМ 822—62)	От —196 до +600	10	На растяжение и холод- ный загиб по ЧМТУ/ ЦНИИЧМ 822—62 от пар- тии проката	Обечайки, днища, пло- ские фланцы, трубные ре- шетки и другие детали хи- мической аппаратуры, предназначенной для работы со средами малой и средней агрессивности и для низко- температурной аппаратуры газоразделительных уста- новок	
X16H6 (ЧМТУ/ ЦНИИЧМ 876—63)	Сталь толстоли- стовая (ЧМТУ/ЦНИИЧМ 876—63)			На растяжение и холод- ный загиб по ЧМТУ/ ЦНИИЧМ 876—63 от пар- тии проката		
X16H6 (ЧМТУ/ ЦНИИЧМ 1088—64)	Прутки горячека- танные и кованые и поковки (ЧМТУ/ЦНИИЧМ 1088—64)			На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ЧМТУ/ ЦНИИЧМ 1088—64 от пар- тии прутков или поковок		Фланцы воротниковые ап- паратов и трубопроводов, крепежные детали (болты, шпильки, гайки) для аппа- ратов того же назначения
06H3 (ЧМТУ/ ЦНИИЧМ 1063—63)	Сталь толстоли- стовая (ЧМТУ/ЦНИИЧМ 1063—63)			От —196 до +300		На растяжение и холод- ный загиб по ЧМТУ/ ЦНИИЧМ 1063—63 от пар- тии проката	Обечайки, днища, пло- ские фланцы, трубные ре- шетки и другие детали хи- мической аппаратуры, пред- назначенной для работы со средами малой и средней аг- рессивности и для низкотем- пературной аппаратуры га- зоразделительных установок

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение	
		$t_{ст}$, °C	$R_{0.2}$, Мн/м ² , не более			
1Х21Н5Т (ГОСТ 5632—61)	Сталь тонколи- стовая (ГОСТ 5582—61, гр. II—а)	От —100 до +300	2,5	На растяжение и холод- ный загиб по ГОСТу 5582—61 от партии проката	Обечайки, днища, фланцы и другие детали химической аппаратуры, работающей с агрессивными средами при производстве азотной кисло- ты концентрации до 55%, (при температуре ≤55%), контактной 98-процентной серной кислоты (при темпе- ратуре 50—70° С), синтети- ческой мочевины concentra- ции до 55—65% (при темпе- ратуре ≤110° С), капролак- тама, адипиновой кислоты при температуре до 90° С, лимонной кислоты, термиче- ской фосфорной кислоты и других химических про- дуктов	
	Сталь толстоли- стовая (ГОСТ 7350—66, гр. А)			На растяжение и холодный загиб по ГОСТу 7350—66 от партии проката		
	Лента стальная (ЧМТУ/ЦНИИЧМ 1079—64 (с изм. № 1)			На растяжение и холодный загиб по ЧМТУ/ЦНИИЧМ 1079—64 от партии проката		
	Сталь сортовая (ГОСТ 5949—61)			На растяжение, ударную вязкость, горячую и холод- ную осадку по ГОСТу 5949—61 от партии проката		
	Трубы электро- сварные (ГОСТ 11068—64)			На сплющивание и на за- гиб по ГОСТу 11068—64 от партии труб. Гидроиспыта- ние каждой трубы на давле- ние 6 Мн/м ² . На межкристаллитную коррозию по мере необходи- мости	Трубопроводы химиче- ских производств	
	Трубы (ГОСТы 9940—62 и 9941—62)			По ГОСТам 9940—62 и 9941—62 от партии про- ката. Гидравлическое ис- пытание каждой трубы	Трубные пучки теплооб- менных аппаратов, змеевики, трубные секции, патрубки ап- паратов того же назначения. Трубопроводы химиче- ских производств	
0Х21Н5Т (ГОСТ 5632—61)	Сталь тонколи- стовая (ГОСТ 5582—61, гр. II—а)	От —100 до +300	2,5	На растяжение и холод- ный загиб по ГОСТу 5582—61 от партии проката	Обечайки, днища, фланцы и другие детали химической аппаратуры, работающей с агрессивными средами при производстве азотной кисло- ты концентрации до 55% (при температуре ≤55° С), контактной 98-процентной серной кислоты (при темпе- ратуре 50—70° С), синтети- ческой мочевины concentra- ции до 65% (при температу- ре ≤110° С), капролактам, адиновой кислоты при тем- пературе до 95° С, лимонной кислоты, термической фос- форной кислоты, при селек- тивной очистке масел фур- фуолом, карбидной пара- финизации масел, гидроочи- стке смазочных масел и при производстве других хими- ческих продуктов	
	Сталь толстоли- стовая (ЧМТУ/ЦНИИЧМ 1031—63)			На растяжение и холодный загиб по ГОСТу 7350—66 от партии проката		
0Х22Н5Т (ГОСТ 5632—61)	Сталь толстоли- стовая (ГОСТ 7350—66, гр. А)					
0Х21Н5Т (ГОСТ 5632—61)	Сталь сортовая (ГОСТ 5949—61)					

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{ст}, ^\circ C$	$R_{m},$ Мн/м ² , не более		
0X21H5T (ГОСТ 5632—61)	Трубы электро- сварные (ГОСТ 11068—64)	От —100 до +300	2,5	На сплющивание и на за- гиб по ГОСТу 11068—64 от партии труб. Гидронспыта- ние каждой трубы на давле- ние 6 Мн/м ² . На межкристаллитную коррозию по мере необходи- мости	Трубопроводы химиче- ских производств
	Трубы (ГОСТы 9940—62 и 9941—62)			По ГОСТам 9940—62 и 9941—62 от партии про- ката. Гидравлическое ис- пытание каждой трубы	Трубные пучки теплооб- менных аппаратов, змеевики, трубные секции, патрубки аппаратов того же назначе- ния. Трубопроводы химиче- ских производств
	Трубы (ЧМТУ/Укр. НИТИ 313—61)				
1X21H5T (ГОСТ 5632—61)	Сталь толстоли- стовая (ГОСТ 7350—66, гр. А)			На растяжение и холод- ный загиб по ГОСТу 7350—66 от партии проката	Сварные из листовой ста- ли штампованные крутоизог- нутые отводы, переходы, тройники и штампованные отбортованные днища для трубопроводов химических производств
0X21H5T (ГОСТ 5632—61)	Сталь толстоли- стовая (ГОСТ 7350—66, гр. А)			На растяжение и холодный загиб по ГОСТу 7350—66 от партии проката	
1X21H5T, 0X21H5T (ГОСТ 5632—61)	Штамповки из трубных заготовок по ТУ заводов- изготовителей			На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ЧМТУ/ ЦНИИЧМ 1345—65 от пар- тии трубных заготовок	Крутоизогнутые отводы и переходы для трубопрово- дов химических производств
0X21H6M2T (ГОСТ 5632—61)	Сталь тонколи- стовая (ГОСТ 5582—61, гр. II—а)	От —100 до +300	2,5	На растяжение и холодный загиб по ГОСТу 5582—61 от партии проката	Обечайки, днища, фланцы и другие детали химической аппаратуры, работающей с агрессивными средами при производстве органических кислот: муравьиной, уксус- ной, молочной, щавелевой (концентрации $\leq 5\%$) и др., а также фосфорной, содержа- щей фтористые соединения, борной кислоты с примесью серной (до 1%), кремнефто- ристоводородной (до 10%) при температуре $\leq 40^\circ C$. (продолжение см. на стр. 27)
	Сталь толстоли- стовая (ЧМТУ/ЦНИИЧМ 1031—63)			На растяжение и холодный загиб по ГОСТу 7350—66 от партии проката	
	Сталь толстоли- стовая (ГОСТ 7350—66, гр. А)				

Продолжение табл. 2.1

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение	
		$t_{ст}$, °C	R_{m} , Мн/мм ² , не более			
0X21H6M2T (ГОСТ 5632—61)	Лента стальная (ЧМТУ/ЦНИИЧМ 494—61)	От —100 до +300	2,5	На растяжение и холод- ный загиб по ЧМТУ/ ЦНИИЧМ 494—61 от пар- тии проката	Сталь рекомендуется в ка- честве заменителя стали X17H13M2T для аппарату- ры в производствах азотной кислоты, капролактама, адипиновой кислоты, моче- вины, хлористого аммония методом выпаривания и дру- гих химических продуктов, при производстве искус- ственного волокна при про- мывке целлюлозы, для филь- трующей аппаратуры в усло- виях производства сульфат- ной и сульфитной целлюлозы	
	Сталь сортовая (ГОСТ 5949—61)			На растяжение, ударную вязкость, горячую и холод- ную осадку по ГОСТу 5949—61 от партии проката		
	Трубы (ЧМТУ/Укр. НИТИ 313—61)			По ЧМТУ/УкрНИТИ 313—61. Гидравлическое ис- пытание каждой трубы		Трубные пучки теплооб- менной аппаратуры. Трубопроводы химиче- ских производств
X14Г14НЗТ (ГОСТ 5632—61)	Сталь тонколи- стовая (ГОСТ 5582—61, гр. II—а)	От —196 до +300	6,4	На растяжение и холод- ный загиб по ГОСТу 5582—61 от партии проката	Обечайки, днища, фланцы и другие детали химической аппаратуры, работающей при низких температурах в установках разделения га- зов методом глубокого охла- ждения, а также аппарату- ры, применяемой в пищевой, мясо-молочной, спиртовой и других отраслях промыш- ленности	
	Сталь толстоли- стовая (ГОСТ 7350—66, гр. А)			На растяжение и холод- ный загиб по ГОСТу 7350—66 от партии проката		
	Сталь сортовая (ГОСТ 5949—61)			На растяжение, ударную вязкость, горячую и холод- ную осадку по ГОСТу 5949—61 от партии проката		
X15H9Ю (ГОСТ 5632—61)	Сталь тонколи- стовая (ГОСТ 5582—61, гр. II—а)	От —196 до +500	10	На растяжение и холодный загиб по ГОСТу 5582—61 от партии проката	Обечайки, днища, фланцы, трубные решетки и другие детали сварной аппаратуры, работающей с агрессивными средами: азотной кислотой, щелочами и растворами со- лей при тех же concentra- циях и температурах, в ко- торых применяется сталь X18H10T, а также аппара- туры низкотемпературных газоразделительных устано- вок	
	Сталь толстоли- стовая (ЧМТУ 5880—57)			На растяжение и холод- ный загиб по ЧМТУ 5880—57 от партии проката		
	Сталь сортовая (ГОСТ 5949—61)			На растяжение, ударную вязкость, горячую и холод- ную осадку по ГОСТу 5949—61 от партии проката		Фланцы, валы перемеши- вающих устройств, оси, бол- ты, шпильки, гайки и дру- гие детали аппаратов того же назначения, испытываю- щие при работе большие напряжения. Сталь рекомен- дуется для деталей, работаю- щих в условиях трения
	Поковки (ЧМТУ/ЦНИИЧМ 194—59) КП 80			На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ЧМТУ/ ЦНИИЧМ 194—59 от партии поковок		

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{cm}, ^\circ C$	$R_{m},$ Мн/м ² , не более		
0X18H12B (ГОСТ 5632—61)	Сталь толстолистовая (ГОСТ 7350—66, гр. А)	От 0 до 600	0,07	На растяжение и холодный загиб по ГОСТу 7350—66 от партии проката	Обечайки, днища, фланцы и другие детали химической аппаратуры, работающей со средами, вызывающими межкристаллитную коррозию
	Трубы (ГОСТы 9940—62 и 9941—62)			По ГОСТам 9940—62 и 9941—62 от партии проката. На межкристаллитную коррозию по ГОСТу 6032—58 по необходимости	Трубные пучки, змеевики, патрубки и другие детали аппаратов того же назначения. Трубы должны быть в термически обработанном состоянии
0X18H10T (ГОСТ 5632—61)	Сталь тонколистовая (ГОСТ 5582—61, гр. II—а)	От —196 до +600	10	На растяжение и холодный загиб по ГОСТу 5582—61 от партии проката. На межкристаллитную коррозию по ГОСТу 6032—58	Обечайки, днища, фланцы, трубные решетки и другие детали химической аппаратуры, работающей со средами, вызывающими межкристаллитную коррозию. Изделия, изготовленные из этой стали должны подвергаться стабилизирующему отжигу
	Сталь толстолистовая (ГОСТ 7350—66, гр. А)			На растяжение и холодный загиб по ГОСТу 7350—66 от партии проката. На межкристаллитную коррозию по ГОСТу 6032—58	
	Сталь сортовая (ГОСТ 5949—61)			На растяжение, ударную вязкость, горячую и холодную осадку по ГОСТу 5949—61 от партии проката. На межкристаллитную коррозию по ГОСТу 6032—58	
	Трубы (ГОСТы 9940—62 и 9941—62)			По ГОСТам 9940—62 и 9941—62 от партии проката, на межкристаллитную коррозию по ГОСТу 6032—58		Трубные пучки теплообменных аппаратов, трубные секции, змеевики, патрубки штуцеров и другие детали аппаратов того же назначения. Изделия из этой стали должны подвергаться стабилизирующему отжигу
00X18H10T (ГОСТ 11068—64); 0X18H10T, X18H10T (ГОСТ 5632—61)	Трубы электросварные (ГОСТ 11068—64)	От —196 до +300	2,5	На сплющивание и на загиб по ГОСТу 11068—64 от партии труб. Гидроиспытание каждой трубы на давление 6 Мн/м ² . На межкристаллитную коррозию по мере необходимости	Трубопроводы химических производств

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{ст}$, °C	R_{m} , Мн/м ² , не более		
X18H10T (ГОСТ 5632—61)	Сталь тонколи- стовая (ГОСТ 5582—61, гр. II—а)	От —253 до +600	10	На растяжение и холодный загиб по ГОСТу 5582—61 от партии проката	Обечайки, днища, фланцы, трубные решетки и другие детали аппаратов, работаю- щих с агрессивными среда- ми, не вызывающими меж- кристаллитную коррозию. Сварные из листовой стали штампованные крутоизогну- тые отводы, переходы, трой- ники, днища (плоские и штампованные) отбортован- ные для трубопроводов хи- мических производств, ра- ботающих со средами, не вызывающими межкристал- литную коррозию
	Сталь толстоли- стовая (ГОСТ 7350—66, гр. А)			На растяжение и холодный загиб по ГОСТу 7350—66 от партии проката	Обечайки, днища, фланцы, трубные решетки аппаратов, работающих со средами, вы- зывающими межкристаллит- ную коррозию. Содержание титана в ста- ли должно быть от 6 (С—0,02) до 0,8%. Изделия из этой стали должны подвергаться стабилизирующему отжигу
	Сталь толстоли- стовая толщиной 26—75 мм (ЧМТУ 2780—51, с изменением № 1)			На растяжение и холод- ный загиб по ЧМТУ 2780—51 от партии проката. При тол- щине листов 50 мм и выше — определение предела теку- чести при нормальной тем- пературе, причем величина σ_T должна быть не менее 220 Мн/м ² . На межкристаллитную коррозию по ГОСТу 6032—58. Содержание титана в ста- ли оговаривается при заказе	Валы перемешивающих устройств, оси, болты, шпильки, гайки и другие детали аппаратов, работаю- щих со средами, не вызываю- щими межкристаллитную коррозию
	Сталь сортовая (ГОСТ 5949—61)			На растяжение, ударную вязкость, горячую и холод- ную осадку по ГОСТу 5949—61 от партии проката	Трубные пучки теплооб- менных аппаратов, трубные секции, змеевики, патрубки штуцеров и другие детали аппаратов, работающих со средами, не вызывающими межкристаллитную корро- зию. Трубопроводы, отводы гнутые из труб и сварные из секторов, штуцера, тройни- ки сварные из труб для тру- бопроводов, работающих со средами, не вызывающими межкристаллитную корро- зию. Трубы должны быть в тер- мически обработанном со- стоянии
	Трубы (ГОСТы 9940—62 и 9941—62)			По ГОСТам 9940—62 и 9941—62 от партии про- ката	

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{ст}$, °C	$\rho_{\text{у}}$, Мн/м ³ , не более		
X18H10T (ГОСТ 5632—61)	Поковки (ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП20с)	От —253 до +600	10	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок. На межкристаллитную коррозию по ГОСТу 6032—58	Фланцы воротниковые для аппаратов и трубопроводов, штуцера, тройники для трубопроводов, работающих со средами, не вызывающими межкристаллитную коррозию
	Штамповки из трубных заготовок по ТУ заводов-изготовителей			На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ЧМТУ/ЦНИИЧМ 1345—65 от партии трубных заготовок	Крутоизогнутые отводы и переходы для трубопроводов химических производств, работающих со средами, не вызывающими межкристаллитную коррозию
	Сталь толстолистовая толщиной 26—75 мм (ЧМТУ 2780—51 с изменением № 1)	На растяжение и холодный загиб по ЧМТУ 2780—51 от партии проката. На межкристаллитную коррозию по ГОСТу 6032—58		Обечайки, днища, фланцы, трубные решетки аппаратов, работающих со средами, вызывающими межкристаллитную коррозию	
	Сталь сортовая (ГОСТ 5949—61)	На растяжение, ударную вязкость, горячую и холодную осадку по ГОСТу 5949—61 от партии проката. На межкристаллитную коррозию по ГОСТу 6032—58		Валы перемешивающих устройств, оси болты, шпильки, гайки и другие детали аппаратов, работающих со средами, вызывающими межкристаллитную коррозию	
	Трубы (ГОСТы 9940—62 и 9941—62)	От —253 до +350		По ГОСТам 9940—62 и 9941—62 от партии проката. На межкристаллитную коррозию по ГОСТу 6032—58	Трубные пучки теплообменных аппаратов, трубные секции, змеевики, патрубки штуцеров и другие детали аппаратов, работающих со средами, вызывающими межкристаллитную коррозию. Трубопроводы, отводы гнутые и сварные из секторов, штуцера, тройники сварные из труб для трубопроводов, работающих со средами, вызывающими межкристаллитную коррозию
	Поковки (ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП20с)			На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок. На межкристаллитную коррозию по ГОСТу 6032—58	Фланцы воротниковые для аппаратов и трубопроводов, штуцера, тройники для трубопроводов, работающих со средами, вызывающими межкристаллитную коррозию

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{ст}$, °С	$R_{\text{н}}$, Мн/м ² , не более		
X18H10T (ГОСТ 5632—61)	Штамповки из трубных заготовок по ТУ заводов-изготовителей	От —253 до +350	10	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ЧМТУ/ЦНИИЧМ 1345—65 от партии трубных заготовок	Крутоизогнутые отводы и переходы для трубопроводов химических производств, работающих со средами, вызывающими межкристаллитную коррозию
OX17H13M2T (ЧМТУ/ЦНИИЧМ 222—59)	Сталь толстолистовая толщиной 5—90 мм (ЧМТУ/ЦНИИЧМ 222—59)			На растяжение и холодный загиб по ЧМТУ/ЦНИИЧМ 222—59 полностью. Испытание на межкристаллитную коррозию по необходимости	Обечайки, днища, фланцы, трубные решетки и другие детали аппаратов, работающих со средами повышенной и высокой агрессивности
X17H13M2T (ГОСТ 5632—61)	Сталь тонколистовая (ГОСТ 5582—61, гр. II—а)	От —253 до +700	10	На растяжение и холодный загиб по ГОСТу 5582—61 от партии проката	Обечайки, днища, фланцы и другие детали аппаратов, работающих с кипящей сернистой кислотой, фосфорной, муравьиной и уксусной кислотами и с другими средами средней и повышенной агрессивности. Сварные из листовой стали штампованные крутоизогнутые отводы, переходы, тройники, днища (плоские и штампованные) отбортованные для трубопроводов химических производств, работающих со средами повышенной и высокой агрессивности
	Сталь толстолистовая (ГОСТ 7350—66, гр. А)			На растяжение и холодный загиб по ГОСТу 7350—66 от партии проката	
	Сталь сортовая (ГОСТ 5949—61)			На растяжение, ударную вязкость, горячую и холодную осадку по ГОСТу 5949—61 от партии проката. Испытание на межкристаллитную коррозию по необходимости	Фланцы воротниковые штуцеров аппаратов и трубопроводов, болты, шпильки, гайки и другие детали внутренних устройств аппаратов того же назначения
	Трубы электросварные (ГОСТ 11068—64)			На сплющивание и на загиб по ГОСТу 11068—64 от партии труб. Гидроиспытание каждой трубы на давление 6 Мн/м ² . На межкристаллитную коррозию по мере необходимости	Трубопроводы химических производств

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение	
		$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	$R_{\text{ц}}, \text{Мн/м}^2$, не более			
X17H13M2T (ГОСТ 5632—61)	Трубы (ГОСТы 9940—62 и 9941—62)	От -253 до +700	10	По ГОСТам 9940—62 и 9941—62 от партии проката. На межкристаллитную коррозию по ГОСТу 6032—58 по необходимости	Трубные пучки теплооб- менных аппаратов, трубные секции, змеевики, патрубки штуцеров и другие детали апар- атов того же назначения. Трубопроводы, отводы гнутые и сварные из секторов, штуцера, тройники сварные из труб для трубопроводов, работающих со средами сред- ней и высокой агрессивности. Трубы должны быть в тер- мически отработанном со- стоянии	
	Поковки (ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП22с)			На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок. На межкристаллитную кор- розию по ГОСТу 6032—58 по необходимости	Фланцы воротниковые для аппаратов и трубопрово- дов, штуцера и тройники для трубопроводов, работающих со средами средней и высо- кой агрессивности	
	Штамповки из трубных заготовок по ТУ заводов- изготовителей			На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ЧМТУ/ ЦНИИЧМ 1345—65 от пар- тии трубных заготовок	Отводы крутоизогнутые и переходы для трубопрово- дов, работающих со сред- ами средней и высокой агрес- сивности	
	Сталь толстоли- стовая (ГОСТ 7350—66, гр. А)			На растяжение и холод- ный загиб по ГОСТу 7350—66 полностью	Обечайки, днища, фланцы, трубные решетки и другие детали аппаратов, работаю- щих с горячими растворами белильной извести, сульфит- ного щелока и с другими средами высокой агрессив- ности	
	Сталь сортовая (ГОСТ 5949—61)			От -253 до +600	На растяжение, ударную вязкость, горячую и холод- ную осадку по ГОСТу 5949—61 от партии проката. Испытание на межкри- сталлитную коррозию по необходимости	Фланцы воротниковые штуцеров аппаратов и тру- бопроводов и другие детали внутренних устройств апар- атов того же назна- чения
	Трубы электро- сварные (ГОСТ 11068—64)			2,5	На сплющивание и на за- гиб по ГОСТу 11068—64 от партии труб. Гидроиспыта- ние каждой трубы на давле- ние 6 Мн/м^2 . На межкристаллитную коррозию по мере необходи- мости	Трубопроводы химиче- ских производств

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение		
		$t_{ст}$, °C	$R_{0,2}$, Мн/мм ² , не более				
0X17H16M3T (ГОСТ 5632—61)	Сталь тонколи- стовая (ГОСТ 5582—61, гр. II—а)	От —253 до +450	10	<p>На растяжение и холод- ный загиб по ГОСТу 5582—61 по ГОСТу или 7350—66 по- листно.</p> <p>На межкристаллитную коррозию по ГОСТу 6032—58 по необходимости</p>	<p>Обечайки, днища, фланцы и другие детали аппаратов, работающих со средами по- вышенной и высокой агрес- сивности.</p> <p>Сварные из листовой стали штампованные крутоизогну- тые отводы, переходы, трой- ники, днища (плоские и штампованные) отбортован- ные для трубопроводов по- вышенной и высокой агрес- сивности</p>		
	Сталь толстоли- стовая (ГОСТ 7350—66, гр. А)						
	Сталь сортовая (ГОСТ 5949—61)					<p>На растяжение, ударную вязкость, горячую и холод- ную осадку по ГОСТу 5949—61 от партии проката. Испытание на межкристал- литную коррозию по необ- ходимости</p>	<p>Фланцы воротниковые штуцеров аппаратов и тру- бопроводов, болты, шпиль- ки, гайки и другие детали внутренних устройств ап- паратов того же назначения</p>
	Трубы (ГОСТы 9940—62 и 9941—62)					<p>По ГОСТам 9940—62 и 9941—62 от партии про- ката.</p> <p>На межкристаллитную коррозию по ГОСТу 6032—58 по необходимости</p>	<p>Трубные пучки теплооб- менных аппаратов, трубные секции, змеевики, патрубки штуцеров и другие детали аппаратов того же назначе- ния.</p> <p>Трубопроводы, отводы, гнутые и сварные из секто- ров, штуцера, тройники, сварные из труб, для трубо- проводов, работающих со средами повышенной и вы- сокой агрессивности.</p> <p>Трубы должны быть в тер- мически обработанном со- стоянии</p>
	Поковки (ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП22с)					<p>На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок</p>	<p>Фланцы воротниковые для аппаратов и трубопро- водов, штуцера и тройники для трубопроводов, работа- ющих в средах повышенной и высокой агрессивности</p>
Штамповки из трубных заготовок по ТУ заводов- изготовителей	<p>На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ЧМТУ/ ЦНИИЧМ 1345—65 от пар- тии трубных заготовок</p>	<p>Отводы крутоизогнутые и переходы для трубопрово- дов, работающих в средах повышенной и высокой аг- рессивности</p>					

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	$R_{\text{н}}, \text{Мн/м}^2$, не более		
X23H18 (ГОСТ 5632—61)	Сталь толстолистовая (ГОСТ 7350—66, гр. А)	От —40 до +800	6,4	На растяжение и холодный загиб по ГОСТу 7350—66 от партии проката. На межкристаллитную коррозию по ГОСТу 6032—58 по необходимости	Сварные из листа штампованные крутоизогнутые отводы, переходы, тройники, днища (плоские и штампованные) отбортованные для трубопроводов химических производств для агрессивных сред при высоких температурах и умеренных нагрузках. Детали печей пиролиза, подверженные умеренной нагрузке
	Сталь сортовая (ГОСТ 5949—61)			На растяжение, ударную вязкость, горячую и холодную осадку по ГОСТу 5949—61 от партии проката	Детали печей пиролиза, подверженные умеренной нагрузке
	Поковки (ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП22с)			На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бригелю по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок. На межкристаллитную коррозию по ГОСТу 6032—58 по необходимости	Фланцы воротниковые, штуцера и тройники для трубопроводов, работающих в агрессивных средах при высоких температурах и умеренных нагрузках
	Штамповки из трубных заготовок по ТУ заводов-изготовителей			На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бригелю по ЧМТУ/ЦНИИЧМ 1345—65 от партии трубных заготовок	Отводы крутоизогнутые и переходы для трубопроводов, работающих в агрессивных средах при высоких температурах и умеренных нагрузках
	Трубы (ГОСТы 9940—62 и 9941—62)			По ГОСТам 9940—62 и 9941—62 от партии проката. На межкристаллитную коррозию по ГОСТу 6032—58 по необходимости	Трубопроводы, отводы гнутые и сварные из секторов, штуцера, тройники сварные из труб для трубопроводов, работающих с агрессивными средами при высоких температурах и умеренных нагрузках. Детали печей пиролиза, подверженные умеренной нагрузке

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{ст}$, °C	$R_{0,01}$, Мн/м ² , не более		
0Х23Н28М3ДЗТ (ГОСТ 5632—61)	Сталь тонколи- стовая (ГОСТ 5582—61, гр. II—а)	От —40 до +80	0,07	На растяжение и холод- ный загиб по ГОСТу 5582—61 от партии проката	Обечайки, днища и другие детали сварной химической аппаратуры для работы с серной кислотой всех кон- центраций при температуре среды $\leq 80^\circ\text{C}$, фосфорной кислотой (32—50% P_2O_5), содержащей фтористые со- единения, кремнефтористо- водородной кислотой кон- центрации $\leq 25\%$ при тем- пературе $\leq 70^\circ\text{C}$
	Сталь толстоли- стовая (ГОСТ 7350—66, гр. А)			На растяжение и холод- ный загиб по ГОСТу 7350—66 от партии проката	
	Сталь толстоли- стовая (ЧМТУ/ЦНИИЧМ 1116—64)			На растяжение, ударную вязкость, горячую и холод- ную осадку по ГОСТу 5949—61 от партии проката. На межкристаллитную кор- розию по необходимости	
	Сталь сортовая (ГОСТ 5949—61)			На сплющивание, на за- гиб и на раздачу по ГОСТу 11068—64 от партии труб. Гидроиспытание каждой трубы на давление 6 Мн/м ² . На межкристаллитную коррозию по мере необхо- димости		Трубные пучки, змеевики и другие детали аппаратов того же назначения. Грат внутри труб должен быть удален или сплюснен. Высота оставшихся следов грата не более 0,5 мм. Трубопроводы химиче- ских производств
	Трубы электро- сварные (ГОСТ 11068—64)				
Трубы из углеродистой стали, футерованные винипластом или полиэтиленом					
ВМСт.Зсп (ГОСТ 380—60) (основной слой). Винипласт (футеровка)	Трубы стальные, футерованные винипластом (ГОСТ 10762—64). Основной слой из труб (ГОСТ 10705—63)	От —20 до +80	1,6	На сплошность футеровки по ГОСТу 10762—64	Трубопроводы химиче- ских производств, предна- значенные для работы с аг- рессивными средами

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{ст}$, °C	$R_{н/м^2}$, не более		
20 (ГОСТ 1050—60) (основной слой). Полиэтилен (футеровка)	Трубы стальные, футерованные полиэтиленом (ГОСТ 10762—64). Основной слой из труб (ГОСТы 8733—66 и 8731—66)	От —40 до +70	1,6	На сплошность футеровки по ГОСТу 10762—64	Трубопроводы химических производств, предназначенные для работы с агрессивными средами
<p>Примечания:</p> <p>1. Приводимые в таблице рабочие условия (давление среды и температура стенки) для ряда марок сталей заимствованы из нормалей [36, 37, 40, 41, 42, 164], для других марок, не включенных в эти нормалю, сообщаются по рекомендациям авторов. Верхний температурный предел применимости сталей определяется прежде всего коррозионным воздействием среды на металл. Приводимые в таблице рекомендации по верхнему температурному пределу применимости сталей являются ориентировочными. Их необходимо согласовать с данными по коррозионной стойкости сталей в соответствующих агрессивных средах. Допустимое предельное давление рабочей среды определяется прочностными соображениями с учетом механических свойств применяемой стали, наличия требуемого сортамента листового проката и труб, надежности сварки, габаритов аппаратуры. Приводимые рекомендации по верхнему пределу давления рабочей среды являются ориентировочными.</p> <p>2. Применение кипящей стали не допускается для сосудов и аппаратов, работающих с динамическими, знакопеременными и пульсирующими нагрузками, для аппаратов, предназначенных для работы со взрыво- и пожароопасными средами, со средами высокой токсичности, с сжиженными и сжатыми газами, а также с электролитами при температуре свыше 100° С и средами, вызывающими коррозионное растрескивание металла.</p> <p>3. Допускается применение предусмотренных в таблице материалов при температурах стенки ниже указанных при условии проведения испытания основного металла и сварных соединений на ударную вязкость при соответствующих температурах. При этом результаты испытаний считаются удовлетворительными, если ни один из образцов не дал результатов менее 0,2 Мдж/м² (2 кгс·м/см²). Результаты испытания должны быть записаны в паспорт изделия.</p> <p>4. Применение сталей марок 0X18H12B, 0X17H16M3T и 0X23H28M3D3T, работающих под давлением свыше 0,07 Мн/м², должно быть согласовано с органами Госгортехнадзора.</p> <p>5. Трубы из высоколегированных сталей марок 0X13, X17, X25T, X28, 0X21H5T, 1X21H5T, 0X23H18, X18H10T, X17H13M2T и 0X17H16M3T, предназначенные для работы под давлением, должны быть гидравлически испытаны в соответствии с ГОСТами 9940—62 и 9941—62.</p>					

Таблица 2.2

Двухслойные стали и биметаллы, рекомендуемые для сварной аппаратуры и для трубопроводов низкого и среднего давления химических производств [28, 34, 164]

Марка металла		Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала основного слоя	Примерное назначение
плакирующего слоя (ГОСТ, ТУ)	основного слоя (ГОСТ, ТУ)		$t_{ст}$, °C	$R_{н/м^2}$, не более		
Сталь 0X13 (ЭИ496) (ГОСТ 5632—61)	Сталь ВМСт.3сп (ГОСТ 380—60)	Сталь двухслойная (ЧМТУ/ЦНИИЧМ 390—60 с доп. 1, 2 и 3 и изм. № 1 и 2 или ГОСТ 10885—64)	От —20 до +400	От +401 до +425	5	Обечайки, днища, патрубки и другие детали сварной химической аппаратуры, предназначенной для работы с горячими серосодержащими средами и аппаратуры, подвергающейся действию слабоагрессивных сред: азотной и некоторых органических кислот невысоких концентраций при температуре ≤30° С, водных растворов солей, водяного пара и др.; аппаратуры для пищевой промышленности
			От —21 до —40			Те же, но проводимые полностью
						Те же и дополнительно на ударную вязкость при температуре —40° С полностью

Марка металла		Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала основного слоя	Примерное назначение
плакирующего слоя (ГОСТ, ТУ)	основного слоя (ГОСТ, ТУ)		$t_{ст}, ^\circ C$	$\rho_{\text{н/м}^2}$, не более		
Сталь 0Х13 (ЭИ496) (ГОСТ 5632—61)	Сталь 20К (ГОСТ 5520—62). Сталь 16ГС (ЗН) (ГОСТ 5520—62)	Сталь двухслой- ная (ЧМТУ/ ЦНИИЧМ 390—60 с доп. 1, 2 и 3 и изм. № 1 и 2 или ГОСТ 10885—64)	От —20 до +420	5	По ГОСТу 5520—62 от партии проката	Примерное назначе- ние см. выше на стр. 36
			От 421 до 475		Те же, но проводи- мые полистно	
			От —21 до —40		На растяжение, хо- лодный загиб и удар- ную вязкость после ста- рения по ГОСТу 5520—62 полистно	
	От —40 до +540	По ГОСТу 5520—62 от партии проката и на ударную вязкость при температуре —40° С по- листно				
Сталь 12МХ (ЧМТУ 5759—57)		Сталь двухслой- ная (ЧМТУ 3258—52 с доп. 1 и 2 или ГОСТ 10885—64)	10	На растяжение, хо- лодный загиб и удар- ную вязкость по ЧМТУ 5759—57 от партии про- ката		
Сталь 12МХ (ЧМТУ/ ЦНИИЧМ 957—63)	На растяжение, холод- ный загиб и ударную вяз- кость по ЧМТУ/ ЦНИИЧМ 957—63 от партии проката					
Сталь Х14Г14Н3Т (ГОСТ 5632—61)	Сталь ВМСт.3сп (ГОСТ 380—60)	Сталь двухслой- ная (ГОСТ 10885—64)	От —20 до +400	5	На растяжение, холод- ный загиб и ударную вязкость по ГОСТу 380—60 от партии про- ката	Обечайки, днища, па- трубки и другие детали сварной химической ап- паратуры, подвергаю- щейся действию слабо- агрессивных сред: азот- ной и некоторых орга- нических кислот невы- соких концентраций при температуре $\leq 30^\circ C$, водных растворов солей, водяного пара, и другой аппаратуры для пище- вой промышленности
			От 401 до 425		Те же, но проводи- мые полистно	
			От —21 до —40		Те же и дополнитель- но на ударную вязкость при температуре —40° С полистно	
	От —20 до +420	10	По ГОСТу 5520—62 от партии проката			
	От 421 до 475		Те же, но проводи- мые полистно			
	От —21 до —40		На растяжение, хо- лодный загиб и ударную вязкость после старения по ГОСТу 5520—62 по- листно			
Сталь 20К (ГОСТ 5520—62) Сталь 16ГС (ЗН) (ГОСТ 5520—62)				По ГОСТу 5520—62 от партии проката и на ударную вязкость при температуре —40° С по- листно		

Марка металла		Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала основного слоя	Примерное назначение
плакирующего слоя (ГОСТ, ТУ)	основного слоя (ГОСТ, ТУ)		$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	$R_{\text{у}},$ $\text{МН/м}^2,$ не более		
Сталь X14Г14Н3Т (ГОСТ 5632—61)	Сталь 09Г2С (М) (ГОСТ 5520—62)		От —40 до +420	5	По ГОСТу 5520—62 от партии проката	Примерное назначение см. выше на стр. 37
			От 421 до 475	10	Те же, но проводимые полистно На растяжение, холод- ный загиб и ударную вяз- кость после старения по ГОСТу 5520—62 полист- но	
			От —41 до —70		На растяжение, холод- ный загиб и ударную вяз- кость при температуре —70° С полистно	
Сталь 0X18Н10Т (ГОСТ 5632—61)	Сталь ВМСт.Зсп (ГОСТ 380—60)	Сталь двухслой- ная (ГОСТ 10885—64)	От —20 до +400	5	На растяжение, хо- лодный загиб и удар- ную вязкость по ГОСТу 380—60 от партии про- ката	Обечайки, днища, па- трубки и другие детали сварной химической ап- паратуры, предназна- ченной для работы со средами средней агрес- сивности: азотной кис- лотой, органическими кислотами (кроме ук- сусной, муравьиной, мо- лочной, щавелевой), большинством раство- ров солей при различ- ных температурах и кон- центрациях
			От 401 до 425		Те же, но проводимые полистно	
			От —21 до —40		Те же и дополнитель- но на ударную вязкость при температуре —40° С полистно	
	От —20 до +420			По ГОСТу 5520—62 от партии проката		
	От 421 до 475		10	Те же, но проводимые полистно На растяжение, хо- лодный загиб и ударную вязкость после старения по ГОСТу 5520—62 по- листно		
	От —21 до —40			По ГОСТу 5520—62 от партии проката и на ударную вязкость при температуре —40° С по- листно		
Сталь 09Г2С (М) (ГОСТ 5520—62)			От —40 до +420	5	По ГОСТу 5520—62 от партии проката	
				10	Те же, но проводи- мые полистно	

Марка металла		Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала основного слоя	Примерное назначение	
плакирующего слоя (ГОСТ, ТУ)	основного слоя (ГОСТ, ТУ)		$t_{ст}, °C$	$R_{y, Mн/м^2}$, не более			
Сталь 0X18H10T (ГОСТ 5632—61)	Сталь 09Г2С (М) (ГОСТ 5520—62)	Сталь двухслой- ная (ГОСТ 10885—64)	От 421 до 475	10	На растяжение, хо- лодный загиб и удар- ную вязкость после ста- рения по ГОСТу 5520—62 полистно	Обечайки, днища, па- трубки и другие детали сварной химической ап- паратуры, предназна- ченной для работы со средами средней агрес- сивности: азотной кис- лотой, органическими кислотами (кроме ук- сусной, муравьиной, мо- лочной, щавелевой), большинством раство- ров солей при различ- ных температурах и концентрациях	
			От —41 до —70		На растяжение, хо- лодный загиб и удар- ную вязкость при тем- пературе —70° С полист- но		
Сталь X18H10T (ГОСТ 5632—61)	Сталь ВМСт.Зсп (ГОСТ 380—60)	Сталь двухслой- ная (ЧМТУ/ ЦНИИЧМ 390—60 с доп. 1 и 2 и изм. № 1 и 2 или ГОСТ 10885—64)	От —20 до +400	5	На растяжение, хо- лодный загиб и ударную вязкость по ГОСТу 380—60 от партии про- ката		
			От 401 до 425		Те же, но проводимые полистно		
			От —21 до —40		Те же и дополнитель- но на ударную вязкость при температуре —40° С полистно		
	Сталь 20К (ГОСТ 5520—62) Сталь 16ГС (ЗН) (ГОСТ 5520—62)		Сталь двухслой- ная (ЧМТУ/ ЦНИИЧМ 390—60 с доп. 1 и 2 и изм. № 1 и 2 или ГОСТ 10885—64)	От —20 до +420	10		По ГОСТу 5520—62 от партии проката
				От 421 до 475			Те же, но проводимые полистно
				От —21 до —40			На растяжение, холод- ный загиб и ударную вяз- кость после старения по ГОСТу 5520—62 полист- но
			От —21 до —40		По ГОСТу 5520—62 от партии проката и на ударную вязкость при температуре —40° С по- листно		

Марка металла		Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала основного слоя	Примерное назначение
плакирующего слоя (ГОСТ, ТУ)	основного слоя (ГОСТ, ТУ)		$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	$R_{y, \text{не более}}$ Мн/м ²		
Сталь X18H10T (ГОСТ 5632—61)	Сталь 09Г2С (М) (ГОСТ 5520—62)	Сталь двухслой- ная (ГОСТ 10885—64)	От —40 до +420	5	По ГОСТу 5520—62 от партии проката	Обечайки, днища, па- трубки и другие детали сварной химической ап- паратуры, предназна- ченной для работы со средами средней агрес- сивности: азотной кис- лотой, органическими кислотами (кроме ук- сусной, муравьиной, мо- лочной, щавелевой), большинством растворов солей при различных температурах и концен- трациях
			От 421 до 475	10	На растяжение, хо- лодный загиб и удар- ную вязкость после ста- рения по ГОСТу 5520—62 полностью	
			От —41 до —70		На растяжение, хо- лодный загиб и удар- ную вязкость при тем- пературе —70°С по- лностью	
Сталь X17H13M2T, X17H13M3T (ГОСТ 5632—61)	Сталь ВМСт.3сп (ГОСТ 380—60)	Сталь двухслой- ная (ГОСТ 10885—64)	От —20 до +400	5	На растяжение, хо- лодный загиб и ударную вязкость по ГОСТу 380—60 от партии про- ката	Обечайки, днища, па- трубки и другие детали сварной химической ап- паратуры, предназна- ченной для работы в сре- дах повышенной агрес- сивности: органических кислот — муравьиной, уксусной, молочной, щавелевой (концен- трации ≤5%) и др., а та- же фосфорной кислоты (до 32% P ₂ O ₅), содер- жащей фтористые соеди- нения, борной кислоты с примесью серной (до 1%), кремнефтористо- водородной кислоты (концентрации ≤10% при температуре ≤40°С)
			От 401 до 425		Те же, но проводи- мые полностью	
			От —21 до —40		Те же и дополнитель- но на ударную вязкость при температуре —40°С полностью	
	От —20 до +420	10	По ГОСТу 5520—62 от партии проката			
	От 421 до 475		Те же, но проводи- мые полностью			
	От —21 до —40		На растяжение, хо- лодный загиб и удар- ную вязкость после ста- рения по ГОСТу 5520—62 полностью			
			От —21 до —40		По ГОСТу 5520—62 от партии проката и на ударную вязкость при температуре —40°С по- лностью	

Марка металла		Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала основного слоя	Примерное назначение
плакирующего слоя (ГОСТ, ТУ)	основного слоя (ГОСТ, ТУ)		$t_{ст}, ^\circ C$	$R_u, \text{Мн/м}^2$, не более		
Сталь X17H13M2T, X17H13M3T (ГОСТ 5632—61)	Сталь 09Г2С (М) (ГОСТ 5520—62)		От —40 до +420	5	По ГОСТу 5520—62 от партии проката	Примерное назначение см. выше на стр. 40
			От 421 до 475	10	Те же, но проводимые полистно На растяжение, хо- лодный загиб и ударную вязкость после старения по ГОСТу 5520—62 по- листно	
			От —41 до —70		На растяжение, холод- ный загиб и ударную вязкость при температу- ре —70° С полистно	
Сталь 0Х23Н28М2Т (ГОСТ 5632—61)	Сталь ВМСт.3сп (ГОСТ 380—60)	Сталь двухслой- ная (ГОСТ 10885—64)	От —20 до +400	5	На растяжение, холод- ный загиб и ударную вязкость по ГОСТу 380—60 от партии про- ката	Обечайки, днища, па- трубки и другие детали сварной емкостной ап- паратуры, предназна- ченной для работы с серной кислотой кон- центраций $\leq 20\%$ при температуре $\leq 60^\circ C$, фосфорной кислотой с примесью фтористых соединений и для дру- гих сред средней агрес- сивности
			От 401 до 425		Те же, но проводимые полистно	
			От —21 до —40		Те же и дополнитель- но на ударную вязкость при температуре —40° С полистно	
	От —20 до +420		10	По ГОСТу 5520—62 от партии проката		
	От 421 до 475			Те же, но проводи- мые полистно На растяжение, хо- лодный загиб и удар- ную вязкость после ста- рения по ГОСТу 5520—62 полистно		
	От —21 до —40			По ГОСТу 5520—62 от партии проката и на ударную вязкость при температуре —40° С по- листно		
	Сталь 09Г2С (М) (ГОСТ 5520—62)				От —40 до +420		5	По ГОСТу 5520—62 от партии проката
		10			Те же, но проводимые полистно	

Марка металла		Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала основного слоя	Примерное назначение
плакирующего слоя (ГОСТ, ТУ)	основного слоя (ГОСТ, ТУ)		$t_{ст}, °C$	$R_{\sigma},$ $MH/M^2,$ не более		
Сталь 0Х23Н28М2Т (ГОСТ 5632—61)	Сталь 09Г2С (М) (ГОСТ 5520—62)	Сталь двухслой- ная (ГОСТ 10885—64)	От 421 до 475	10	На растяжение, хо- лодный загиб и ударную вязкость после старения по ГОСТу 5520—62 по- листно	Примерное назначение см. выше на стр. 41
			От —41 до —70		На растяжение, хо- лодный загиб и ударную вязкость при температу- ре —70° С полистно	
Сталь 0Х23Н28М3Д3Т (ГОСТ 5632—61)	Сталь ВМСт.3сп (ГОСТ 380—60)		От —20 до +400	5	На растяжение, хо- лодный загиб и удар- ную вязкость по ГОСТу 380—60 от партии про- ката	Обечайки, днища, па- трубки и другие детали сварной емкостной ап- паратуры, предназна- ченной для работы с серной кислотой любой концентрации при тем- пературе $\leq 80^\circ C$, фос- форной кислотой (32— 50% P_2O_5), содержащей фтористые соединения, кремнефтористоводо- родной кислотой кон- центрации $\leq 25\%$ при температуре $\leq 70^\circ C$ и для других сред повы- шенной агрессивности
			От 401 до 425		Те же, но проводи- мые полистно	
			От —21 до —40		Те же и дополнитель- но на ударную вязкость при температуре —40° С полистно	
			От —20 до +420		По ГОСТу 5520—62 от партии проката	
	Сталь 20К (ГОСТ 5520—62)		От 421 до 475	10	Те же, но проводимые полистно	
			От 421 до 475		На растяжение, хо- лодный загиб и удар- ную вязкость после ста- рения по ГОСТу 5520—62 полистно	
			От —21 до —40		По ГОСТу 5520—62 от партии проката и на ударную вязкость при температуре —40° С по- листно	
			От —40 до +420		По ГОСТу 5520—62 от партии проката	
Сталь 09Г2С (М) (ГОСТ 5520—62)		От —40 до +420	5	По ГОСТу 5520—62 от партии проката		
			10	Те же, но проводи- мые полистно		

Марка металла		Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала основного слоя	Примерное назначение
плакирующего слоя (ГОСТ, ТУ)	основного слоя (ГОСТ, ТУ)		$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	$R_{\text{н}}$, Мн/м ² , не более		
Сталь 0Х23Н28М3ДЗТ (ГОСТ 5632—61)	Сталь 09Г2С (М) (ГОСТ 5520—62)	Сталь двухслой- ная (ГОСТ 10885—64)	От 421 до 475	10	На растяжение, хо- лодный загиб и ударную вязкость после старения по ГОСТу 5520—62 по- листно	Примерное назначение см. выше на стр. 42
			От —41 до —70		На растяжение, хо- лодный изгиб и ударную вязкость при температу- ре —70° С полностью	
Медь МЗр (ГОСТ 859—66)	Сталь 10сп (ГОСТ 1050—60)	Биметалл листовой (ЧМТУ/ ЦНИИЧМ 1319—65)	От —20 до +400	5	На растяжение, хо- лодный загиб и удар- ную вязкость по ГОСТу 1050—60 от партии про- ката	Обечайки, днища, па- трубки и другие детали сварной аппаратуры, применяемой в произ- водстве пластических масс, в частности фе- нолформальдегидных смола, и в других произ- водствах химической промышленности
			От 421 до 425		Те же, но проводи- мые полностью	
Никель НП2 (ГОСТ 492—52)	Сталь 10сп (ГОСТ 1050—60)	Биметалл листовой (ЧМТУ/ ЦНИИЧМ 870—63 или ГОСТ 10885—64)	От —21 до —40	5	Те же и дополнитель- но на ударную вязкость при температуре —40° С полностью	Обечайки, днища, па- трубки и другие детали сварной химической ап- паратуры для сред повы- шенной агрессивности. Элек- тролизные ванны, при- меняемые в алюминие- вой промышленности
			От —21 до —40		Те же и дополнитель- но на ударную вязкость при температуре —40° С полностью	
Монель НМЖМц 28-2,5-1,5 (ГОСТ 492—52)	Сталь ВМСт.3сп (ГОСТ 380—60)	Биметалл листовой (МРТУ 14-2-68—66)	От —21 до —40	5	Те же и дополнитель- но на ударную вязкость при температуре —40° С полностью	Обечайки, днища, па- трубки и другие детали сварной химической ап- паратуры для сред повы- шенной и высокой аг- рессивности
Медь МЗр (ГОСТ 617—64)	Сталь 20 (ГОСТ 1050—60)	Трубы бесшовные биметалли- ческие по ГОСТу 10192—62	От —40 до +250	10	На растяжение и на твердость по Бринелю по ГОСТам 8733—58 и 8731—58 от партии про- ката	Трубопроводы химич- еских производств, предназначенные для работы со средами сред- ней и повышенной аг- рессивности

Стали, сплавы и чугуны, рекомендуемые для литых деталей химической аппаратуры низкого и среднего давлений [101, 164]

Марка (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытания материала	Примерное назначение
	$t_{ст}$, °C	$R_{y'}$, Мн/м ² , не более		
Отливки стальные				
20Л-П (ГОСТ 977-65)	От -40 до +450		Полный химический анализ, определение σ_T и δ по ГОСТу 977-65 поплавно	Крышки, патрубки, фланцы приварные встык и другие детали химической аппаратуры
25Л-П (ГОСТ 977-65)				Те же детали, но в случае их сварки содержание углерода должно быть не более 0,27%
35Л-П (ГОСТ 977-65)	От -30 до +450	Литые детали химической аппаратуры, не подлежащие сварке		
45Л-П (ГОСТ 977-65)		Стяжные кольца плавающих головок теплообменных аппаратов и подогревателей		
20ХМЛ (ГОСТ 7832-65)	От -40 до +450	10	Полный химический анализ, определение σ_T и δ по ГОСТу 7832-65 поплавно	Фланцы, патрубки и другие детали химической аппаратуры
20Х5МЛ (ГОСТ 2176-67)	От -40 до +550			
20Х5ТЛ (ГОСТ 2176-67)	От -40 до +425			Двойники, детали арматуры и другие детали, работающие с горячими серосодержащими нефтяными средами
20Х8ВЛ (ГОСТ 2176-67)	От -40 до +575			
10Х13Л; 20Х13Л (ГОСТ 2176-67)	От -40 до +540	1,6		Корпуса, крышки, фланцы и другие детали химической аппаратуры, работающей с горячими сернистыми продуктами и с другими слабоагрессивными средами
15Х25ТЛ (ГОСТ 2176-67)	От -20 до +700	0,07	Полный химический анализ, определение σ_s , σ_T и δ по ГОСТу 2176-67 поплавно	Корпуса, крышки, фланцы и другие детали химической аппаратуры неотвественного назначения, не подвергающейся действию ударных нагрузок и предназначенной для работы со средами средней агрессивности (преимущественно для растворов гипохлорита натрия, дымящейся азотной и фосфорной кислот различных концентраций), и многие другие детали химической аппаратуры
75Х28Л; 185Х34Л (ГОСТ 2176-67)	От -15 до +1000			Корпуса, крышки и другие детали химической аппаратуры, работающей в среде газов SO ₂ , SO ₃ и кислот: азотной (концентрации ≤66% при температуре +20° С), 78%-ной серной (при температуре +20° С), кипящей фосфорной (концентрации 10-40%), кипящей уксусной (концентрации 10-100%), кипящей молочной (концентрации 1,5%), а также в среде водных растворов едкого натра (концентрации 10-50% при температуре ≤100° С) и других химических продуктов
10Х18Н9ТЛ (ГОСТ 2176-67)	От -253 до +600			10
10Х18Н12М3ТЛ (ГОСТ 2176-67)	От -253 до +800	0,07		Корпуса, крышки, фланцы и другие детали химической аппаратуры, работающей в средах средней и повышенной агрессивности

Марка (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытания материала	Примерное назначение
	$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	$R_{\text{н}}$, Мн/м ² , не более		
Отливки из сплавов со специальными свойствами				
C15, C17 (ферросилиды) ГОСТ 2233—43	От —15 до +250	0,2	Полный химический анализ попла- вочно и определение механических свойств поплавочно	Корпуса, крышки и другие детали простой конфигурации, необрабатываемые или с незначи- тельной обработкой для аппаратуры, работающей с сильно агрессивными средами
МФ-15				
Отливки из серого чугуна				
СЧ 00 (ГОСТ 1412—54)	От —15 до +250	Без дав- ления	По ГОСТу 1412—54 от партии отливок	Детали простой конфигурации, необрабатывае- мые или с незначительной обработкой для аппа- ратуры, работающей со слабоагрессивными сре- дами
СЧ 12-28 (ГОСТ 1412—54)				
СЧ 15-32 (ГОСТ 1412—54)		0,3	По ГОСТу 1412—54 поплавоч- но	Ответственные детали сложной конфигурации, корпуса аппаратов $D_{\text{в}} \leq 2000$ мм, работающих со слабоагрессивными средами
СЧ 18-36 (ГОСТ 1412—54)		Внутрен- нее 0,3 Наруж- ное 0,8		
СЧ 21-40 (ГОСТ 1412—54)		1,0			Ответственные детали сложной конфигурации, корпуса аппаратов $D_{\text{в}} \leq 3000$ мм (на рабочее внутреннее давление $\leq 0,3$ Мн/м^{2}) и $D_{\text{в}} \leq 2000$ мм (на рабочее наружное давление $\leq 0,8$ Мн/м^{2}), ра- ботающих со слабоагрессивными средами
Серый чугун (ТУ Т577—56 Макеевского завода)	—	—	По ТУ Т577—56 поплавочно	Детали холодильников погружного типа
Отливки из жаростойкого чугуна				
ЖЧХ-1,5 (ГОСТ 7769—63)	До 600	—	По ГОСТу 7769—63 поплавоч- но	Детали, работающие в среде воздуха, печных или генераторных газов при высокой температуре среды
ЖЧС-5,5 (ГОСТ 7769—63)	До 800			
Отливки из щелочестойкого чугуна				
СЧЩ-1; СЧЩ-2	От —15 до —400	1,0	Полный химиче- ский анализ попла- вочно и определение механических свойств поплавочно	Корпуса, крышки и другие детали аппаратуры, предназначенной для работы с водными раствора- ми щелочей NaOH и KOH

Продолжение табл. 2.3

Марка (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытания материала	Примерное назначение
	$t_{ст.} \text{ } ^\circ\text{C}$	R_{μ} , Мн/м ² , не более		
Отливки из антифрикционного чугуна				
АСЧ-1; АСЧ-2 (ГОСТ 1585—57)	—	—	По ГОСТУ 1585—57 от партии отливок	Литые детали в подшипниковых узлах трения при работе в паре с термически обработанным (каленным или нормализованным) валом
АСЧ-3 (ГОСТ 1585—57)	—	—		Литые детали в подшипниковых узлах трения при работе в паре с термически необработанным валом

Таблица 2.4

Коррозионностойкие сплавы типа хастеллой, применяемые для сварной и литой химической аппаратуры, работающей со средами высокой агрессивности [189, 209]

Марка	Вид материала	Химический состав, %								Примерное назначение
		C	Si	Mn	Fe	Cr	Ni	Mo	Другие элементы	
Хастел- лой В (ЭИ461)	Тонкий лист тол- щиной 0,8—3,0 мм Сортовой прокат с размером сечения до 100 мм	0,1	1,0	1,0	5,5	—	63—67	27—30	—	Обечайки, днища и другие детали сварной аппаратуры, работающей с горячими растворами серной и соляной кислот, с кипящей серной кислотой средних концентраций (20—60%), с кипящей фосфорной кислотой концентрации 10—85% и с другими высокоагрессивными средами
Хастел- лой С (ЭП375)	Тонкий лист тол- щиной 0,8—3,0 мм. Толстый лист тол- щиной до 20 мм. Сортовой прокат с размером сечения до 100 мм	0,08	1,0	1,0	≤7	14,5— 16,5	Осталь- ное	15—17	Co ≤ 2,5 V ≤ 0,35 W = 3,5 ÷ ÷ 4,0	Обечайки, днища и другие детали сварной аппаратуры, а также литые детали для аппаратов, работающих с азотной кислотой, растворами гипохлоритов, водными растворами, содержащими хлор, и другими сильными окислительными средами
	Литье	0,12	1,0	1,0	≤7	15,5— 17,5	Осталь- ное	16—18	3,75— 5,25 (W)	
Хастел- лой F	Прокат	0,05	1,0	1—2	13,5— 17	21— 23	Осталь- ное	5,5— 7,5	1,75—2,5 (Nb+Ta)	Обечайки, днища и другие детали сварной аппаратуры, а также литые детали для аппаратов, работающих со щелочными растворами, растворами сернистой кислоты, сернистым газом и другими высокоагрессивными средами
	Литье	0,12	1,0	1,5— 2	13,5— 17	21—23	Осталь- ное	5,5— 7,5	1,75—2,5 (Nb+Ta)	

Примечания:

1. На поставку полуфабрикатов (лист, сортовой прокат и трубы) из сплавов типа хастеллой в настоящее время действующих технических условий не имеется. Для заказа полуфабрикатов из этих сплавов необходимо согласование технических условий с поставщиком.

2. Допустимые условия применения сплавов (наибольшая температура стенки и рабочее давление среды) устанавливаются проектной организацией по согласованию с Госгортехнадзором.

Таблица 2.5

Стали, рекомендуемые для кованой, ковано-сварной и штампо-сварной химической аппаратуры высокого давления [163]

Марка (ГОСТ, ТУ)	Вид полуфабрикатов, технические условия или ГОСТ	Условия применения		[Виды испытаний материала]	Примерное назначение
		$t_{ст}, °C$	$R_{y, МПа/Мн/М²}$		
09Г2С(М), 10Г2С1(МК) (ГОСТ 5520—62)	Сталь листовая по ГОСТу 5520—62	От -50 до +200	10—32	На растяжение, холодный загиб и ударную вязкость по ГОСТу 5520—62 по листно	Корпуса штампо-сварные
22К (ГОСТ 5520—62)	Поковки по ТУ ХК 1—00 Ижорского завода		10—50		Корпуса ковано-сварные, днища, крышки, фланцы
35Г2 (ГОСТ 4543—61)	Поковки по ТУ заводов-изготовителей аппаратуры		20—50		Корпуса цельнокованные с фланцами, крышки Двухконусные обтюраторы
20Х2МА	Поковки по СТУ 53-378—64 завода «Баррикады», ИЭС им. Патона, Иркутского НИИхиммаша	От -50 до +200	32—70	Химический анализ металла по ГОСТам 2331—63 и 2604—44 по плавочной пробе, отбираемой при разливе стали. Поковки после термообработки подвергаются внешнему осмотру, ультразвуковой дефектоскопии, контролю макроструктуры и механическим испытаниям: на растяжение на двух пятикратных образцах $\varnothing 10$ мм по ГОСТу 9651—61 (испытание деталей первой температурной ступени производится при температуре +20°С и +200°С, второй температурной ступени — при +20°С и +300°С или при +20°С и +400°С, — в зависимости от марки стали и температурных условий ее применения)*, на ударную вязкость при температуре +20°С по ГОСТу 9450—60	Корпуса ковано-сварные, днища, крышки, фланцы
			10—32		Двухконусные обтюраторы
			20—100		Корпуса ковано-сварные, днища, крышки, фланцы
22Х3М	Поковки по ВТУ 572—64 Ижорского завода, Иркутского НИИхиммаша	От 201 до 300	32—70	Корпуса ковано-сварные, днища, крышки, фланцы	
			От -50 до +200		Двухконусные обтюраторы
			20—100		Корпуса ковано-сварные, днища, крышки, фланцы
25Х3НМ	Поковки по СТУ 53-167—62 завода «Баррикады»	От 201 до 300	32—70	Корпуса ковано-сварные, днища, крышки, фланцы	
			20—100		Двухконусные обтюраторы
20Х3МВФ (ЭИ415)	Поковки по МПТУ 2362—49	От 301 до 400	10—70	Корпуса ковано-сварные, днища, крышки, фланцы	
			20—100		Двухконусные обтюраторы
30Х (ГОСТ 4543—61)	Поковки по ГОСТу 8479—57, гр. IV—КП 50А	От -50 до +400	10—70	Те же и дополнительно для каждой детали основного крепежа испытание на твердость по Бриелю по ГОСТу 9012—59	Шайбы основные
			От -50 до +200		10—50	Гайки основные

Марка (ГОСТ, ТУ)	Вид полуфабрика- тов, технические условия или ГОСТ	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	$R_{y'},$ МН/м ²		
30ХМА (ГОСТ 4543—61)	Поковки по ГОСТу 8479—57, гр. IV—КП 56А	От 201 до 400	10—70	Те же и дополнительно для каждой детали основного кре- пежа испытание на твердость по Бринелю по ГОСТу 9012—59	Гайки основные
35ХМ (ГОСТ 4543—61)		От -50 до +200	10—50		Шпильки основные
25Х1МФ (ГОСТ 10500—63)	Поковки по ГОСТу 8479—57, гр. IV—КП 63А	От 201 до 400	10—70		

Примечания:
1. Ковано-сварные корпуса из стали марки 25Х3НМ могут быть изготовлены с применением только автоматической сварки под слоем флюса.
2. Материалы для шпилек и гаек даны для диаметров резьбы от 64 до 150 мм.
3. По согласованию с Госгортехнадзором для шпилек, гаек и шайб допускается применение сталей других марок, если термически обработанные поковки в соответствующих сечениях имеют механические свойства не ниже приведенных в табл. 2.12 для сталей, рекомендованных в настоящей таблице.

* Первая температурная ступень от -50° С до +200° С, вторая температурная ступень от +201° С до +400° С.

Таблица 2.6

Стали, рекомендуемые для деталей трубопроводов высокого давления химических производств
[38, 43, 46, 47, 48]

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	$R_{y'},$ МН/м ²		
Сталь углеродистая качественная конструкционная					
20 (ГОСТ 1050—60)	Трубы (ГОСТы 8733—66 и 8731—66)	От -40 До +200	16	По ГОСТам 8733—66 и 8731—66 с определением предела текучести. Гидра- лическое испытание каж- дой трубы на раздачу (при $s \leq 8$ мм); на сплющивание (для $s \leq 10$ мм); на загиб и проверка на макрострук- туру (по требованию чер- тежа)	Трубопроводы и отводы гну- тые из труб ($D_y = 6 \div 400$ мм) для агрессивных сред и $D_y =$ $= 350 \div 400$ мм для неагрессив- ных и малоагрессивных сред
			25		Трубопроводы и отводы гну- тые из труб $D_y = 6 \div 300$ мм для неагрессивных и малоагрес- сивных сред
	Трубы (МРТУ 14-4-21—67)		16	По МРТУ 14-4-21—67 от партии проката	Трубопроводы и отводы гну- тые из труб $D_y = 10 \div 350$ мм для неагрессивных, малоагрес- сивных и агрессивных сред
			25		Трубопроводы и отводы гну- тые из труб $D_y = 10 \div 300$ мм для неагрессивных и малоагрес- сивных сред

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение	
		$t_{ст}, ^\circ C$	$R_{y'},$ Мн/м ²			
20 (ГОСТ 1050—60)	Трубы (ЧМТУ/ УкрНИТИ 518—63)	От —40 до +200	20	По ЧМТУ/УкрНИТИ 518—63 на растяжение с определением $\sigma_b, \sigma_T, \delta$ и ψ и на ударную вязкость. Проверка макро- и микроструктуры. Гидравлическое испытание каждой трубы. Испытание на раздачу (для $s \leq 8$ мм), испытание на сплющивание (для $s \leq 10$ мм)	Штуцера резьбовые $D_y = 25 \div 70$ мм, привариваемые к трубам встык (по МН 4971—63)	
			32		Трубопроводы и отводы, гнутые из труб $D_y = 6 \div 200$ мм, и штуцера резьбовые $D_y = 6 \div 15$ мм (по МН 4971—63), работающие с неагрессивными средами	
	25		На растяжение и холодный загиб по ГОСТу 1577—53 полностью	Заглушки приварные (по МН 3574—62) для трубопроводов $D_y = 10 \div 300$ мм, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами		
	16		На растяжение, ударную вязкость, горячую и холодную осадку по ГОСТу 1050—60 от партии проката	Переходы концентрические (по МН 3569—62) для трубопроводов $D_y = 15 \div 25$ мм, штуцера переходные (по МН 3572—62) для трубопроводов $D_y = 6 \div 25$ мм, работающих с агрессивными средами, и штуцера переходные (по МН 3572—62) для трубопроводов $D_y = 25$ мм, работающих с неагрессивными средами		
	20			Переходы концентрические (по МН 3569—62) для трубопроводов $D_y = 25 \div 32$ мм, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами		
	25			Переходы концентрические (по МН 3569—62) для трубопроводов $D_y = 10 \div 20$ мм и штуцера переходные (по МН 3572—62) для трубопроводов $D_y = 6 \div 20$ мм, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами		
	32			Переходы точеные (по МН 4986—63 и 5008—63) для трубопроводов $D_y = 10 \div 60$ мм, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами		
	64			Линзы жесткие без бурта по ГОСТу 10493—63 для трубопроводов $D_y = 6 \div 32$ мм, работающих с неагрессивными средами		
	Сталь толстолистовая (ГОСТ 1577—53)					
	Сталь сортовая (ГОСТ 1050—60)					

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{cm}, ^\circ C$	$R_y, \text{МПа}$		
20 (ГОСТ 1050—60)	Штамповки из трубных заготовок по ТУ заводов- изготовителей	От -40 до +200	16	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ЧМТУ 3024—56 от партии трубных заготовок	Отводы крутоизогнутые (по МН 3575—62, 3576—62 и 3577—62) для трубопрово- дов $D_y = 40 \div 400 \text{ мм}$, перехо- ды концентрические (по МН 3578—62) и эксцентрические (по МН 3579—62) для трубопрово- дов $D_y = 50 \div 400 \text{ мм}$, штуцера переходные (по МН 3573—62) для трубопроводов $D_y = 40 \div$ $\div 250 \text{ мм}$, работающих с агрес- сивными средами.
			25		Отводы крутоизогнутые (по МН 3575—62, 3576—62 и 3577—62), переходы концен- трические (по МН 3578—62) и эксцентрические (по МН 3579—62) для трубопроводов $D_y = 350 \div 400 \text{ мм}$, штуцера переходные (по МН 3573—62) для трубопроводов $D_y = 200 \div$ $\div 250 \text{ мм}$, работающих с неаг- рессивными и малоагрессивны- ми средами
			32		Отводы крутоизогнутые (по МН 3575—62, 3576—62 и 3577—62) для трубопрово- дов $D_y = 40 \div 300 \text{ мм}$, пере- ходы концентрические (по МН 3578—62) и эксцентрические (по МН 3579—62) для трубопрово- дов $D_y = 50 \div 300 \text{ мм}$, штуцера переходные (по МН 3573—62) для трубопроводов $D_y = 40 \div$ $\div 175 \text{ мм}$, работающих с неаг- рессивными и малоагрессивны- ми средами
	Поковки (ГОСТ 8479—57 гр. IV — КП22)		16	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок	Тройники равнопроходные (по МН 3570—62) $D_y = 6 \div$ $\div 70 \text{ мм}$ и тройники переходные (по МН 3571—62) $D_y = 15 \div$ $\div 70 \text{ мм}$ для агрессивных сред и те же детали $D_y = 70 \text{ мм}$ для неагрессивных и малоагрессив- ных сред
			25		Тройники равнопроходные (по МН 3570—62) $D_y = 6 \div$ $\div 60 \text{ мм}$ и тройники переходные (по МН 3571—62) $D_y = 10 \div$ $\div 60 \text{ мм}$ для неагрессивных и малоагрессивных сред

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	$R_y,$ МН/м ²		
20 (ГОСТ 1050—60)	Поковки (ГОСТ 8479—57 гр. IV—КП22)	От —40 до +200	32	На растяжение; ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок	<p>Колена (по МН 4973—63 и 4975—63), тройники переходные (по МН 4981—63, 4983—63, 4984—63, 5004—63 и 5006—63), диафрагмы измерительные линзовые (по МН 4988—63), отводы линзовые (по МН 4989—63), линзы глухие (по МН 4970—63), линзы жесткие без бурта (по ГОСТу 10493—63), карманы под термометры сопротивления и термопары (по МН 4992—63) для трубопроводов $D_y = 6 \div 200$ мм, работающих с неагрессивными средами.</p> <p>Колена с опорами (по МН 4974—63, 4976—63 4977—63, 4999—63, 5000—63 и 5001—63), угольники с ответвлениями (по МН 4980—63 и 5003—63), тройники переходные с ответвлениями (по МН 4982—63 и 5005—63) для трубопроводов $D_y = 40 \div 200$ мм, работающих с неагрессивными средами.</p> <p>Колена двойные (по МН 4979—63 и 5002—63) для трубопроводов $D_y = 6 \div 125$ мм, работающих с неагрессивными средами.</p> <p>Тройники-вставки (по МН 4985—63 и 5007—63) для трубопроводов $D_y = 32 \div 200$ мм, работающих с неагрессивными средами.</p> <p>Угольники под термометры сопротивления и термопары (по МН 4990—63) для трубопроводов $D_y = 6 \div 40$ мм, работающих с неагрессивными средами.</p>
			50			На растяжение и холодный загиб по ГОСТу 1577—53 полностью Фланцы резьбовые толщиной $\leq 35$ мм (по ГОСТу 9399—63) и заглушки (по МН 4995—63 и 4996—63) для трубопроводов $D_y = 6 \div 200$ мм; фланцы переходные (по МН 4993—63 и 4994—63) для трубопроводов $D_y = 40 \div 200$ мм Фланцы и штуцера под термометры сопротивления и термопары (по МН 4991—63) для трубопроводов $D_y = 200$ мм

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	$R_{\text{y}},$ Мн/м ²		
35 (ГОСТ 1050—60)	Сталь толстолистовая (ГОСТ 1577—53)	От —40 до +200	64	На растяжение и холодный загиб по ГОСТу 1577—53 полисто	Фланцы резьбовые толщиной ≤ 35 мм (по ГОСТу 9399—63) для трубопроводов $D_y = 6 \div 32$ мм, фланцы и штуцера под термометры сопротивления и термпары (по МН 4991—63) для трубопроводов $D_y = 6 \div 150$ мм
	Сталь сортовая (ГОСТ 1050—60)		32	На растяжение, ударную вязкость, горячую и холодную осадку по ГОСТу 1050—60 от партии проката	Штуцера ввертные (по МН 2299—61 и 2387—61), проходные (по МН 2300—61 и 2388—61), переходные (по МН 2301—61 и 2389—61), переборочные (по МН 2302—61 и 2390—61); гайки накидные (по МН 2401—61) для трубопроводов $D_y = 6 \div 32$ мм, работающих с неагрессивными средами
	Штамповки по ТУ, утверждаемым в установленном порядке			На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю от партии штамповок	Угольники ввертные (по МН 2303—61 и 2391—61), проходные (по МН 2304—61 и 2392—61); тройники ввертные проходные (по МН 2305—61 и 2393—61), ввертные переходные (по МН 2306—61 и 2394—61), ввертные проходные несимметричные (по МН 2307—61 и 2395—61), ввертные переходные несимметричные (по МН 2308—61 и 2396—61), проходные (по МН 2309—61 и 2397—61), переходные несимметричные (по МН 2310—61 и 2398—61), переходные (по МН 2311—61 и 2399—61) для трубопроводов $D_y = 6 \div 32$ мм, работающих с неагрессивными средами
45 (ГОСТ 1050—60)	Сталь сортовая (ГОСТ 1050—60)			На растяжение, ударную вязкость, горячую и холодную осадку по ГОСТу 1050—60 от партии проката	Кольца врезаящиеся (по МН 2400—61) для трубопроводов $D_y = 6 \div 32$ мм, работающих с неагрессивными средами
Сталь легированная					
14ХГС (ГОСТ 5058—65)	Трубы (ЧМТУ/ УкрНИТИ 518—63)	От —40 до +200	64	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ЧМТУ/УкрНИТИ 518—63 от партии проката.	Трубопроводы и отводы, гнутые из труб $D_y = 6 \div 150$ мм, переходы (по МН 4987—63 и 5009—63) для трубопроводов $D_y = 40 \div 150$ мм, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами
			50	Для труб с $D_n \leq 45$ мм испытание на загиб по ГОСТу 3728—66. Для труб с $D_n > 45$ мм испытание на сплющивание по ГОСТу 8695—58		Трубопроводы и отводы, гнутые из труб $D_y = 200$ мм, переходы (по МН 4987—63 и 5009—63) для трубопроводов $D_y = 200$ мм, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение	
		$t_{ст}, ^\circ C$	$R_y, \text{МПа/М}^2$			
18ХГ (ГОСТ 4543—61)	Поковки (ГОСТ 8479—57 гр. IV—КП28)	От —40 до +200	64	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринеллю по ГОСТу 8479—57 гр. IV от партии поковок	<p>Колена (по МН 4973—63 и МН 4975—63), тройники переходные (по МН 4981—63, МН 4983—63, МН 4984—63, МН 5004—63 и МН 5006—63), диафрагмы измерительные линзовые (по МН 4988—63), отводы линзовые (по МН 4989—63), линзы глухие (по МН 4970—63), карманы под термометры сопротивления и термопары (по МН 4992—63) для трубопроводов $D_y = 6 \div 150 \text{ мм}$, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами.</p> <p>Тройники-вставки (по МН 4985—63 и МН 5007—63) для трубопроводов $D_y = 32 \div 150 \text{ мм}$, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами.</p> <p>Колена с опорами (по МН 4974—63, МН 4976—63, МН 4977—63, МН 4999—63, МН 5000—63 и МН 5001—63), угольники с ответвлениями (по МН 4980—63 и МН 5003—63), тройники переходные с ответвлениями (по МН 4982—63 и МН 5005—63) для трубопроводов $D_y = 40 \div 150 \text{ мм}$, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами.</p> <p>Линзы жесткие с буртом по ГОСТу 10493—63 для трубопроводов $D_y = 40 \div 200 \text{ мм}$, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами</p>	
			50			Те же детали для трубопроводов $D_y = 200 \text{ мм}$
			64			Колена двойные (по МН 4979—63 и МН 5002—63) для трубопроводов $D_y = 6 \div 125 \text{ мм}$, угольники под термометры сопротивления и термопары (по МН 4990—63) для трубопроводов $D_y = 6 \div 40 \text{ мм}$, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами
35ХГ2 (ГОСТ 4543—61)	Сталь сортовая (ГОСТ 4543—61)		64	На растяжение, ударную вязкость, горячую и холодную осадку по ГОСТу 4543—61 от партии проката	<p>Переходы точеные (по МН 4986—63 и МН 5008—63 для трубопроводов $D_y = 10 \div 40 \text{ мм}$, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами</p> <p>Шпильки по ГОСТу 10494—63 для фланцевых соединений с линзовым уплотнением трубопроводов $D_y = 6 \div 150 \text{ мм}$</p>	
			32			То же, но для трубопроводов $D_y = 200 \text{ мм}$

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	$R_{y'},$ МН/М ²		
30X (ГОСТ 4543—61)	Поковки (ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП40А)	От —40 до +200	64	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок	Фланцы резьбовые толщиной >35 мм (по ГОСТу 9399—63) для трубопроводов $D_y = 32 \div$ $\div 150$ мм, фланцы переходные (по МН 4993—63 и 4994—63) для трубопроводов $D_y = 40 \div$ $\div 150$ мм, заглушки (по МН 4995—63 и 4996—63) для трубопроводов $D_y = 6 \div 150$ мм
			50			Те же детали для трубопро- водов $D_y = 200$ мм
	Сталь сортовая шестигранная (ГОСТ 10702—63)		64	На растяжение, ударную вязкость, горячую и холод- ную осадку по ГОСТу 10702—63 от партии проката	Гайки (по ГОСТу 10495—63) для фланцевых соединений с линзовым уплотнением трубо- проводов $D_y = 6 \div 150$ мм
			50			То же, но для трубопроводов $D_y = 200$ мм
12X1МФ (ГОСТ 10500—63)	Трубы (МРТУ 14.4-21—67)	От —40 до +560	40	По МРТУ 14.4-21—67 от партии проката	Трубопроводы и отводы гнутые из труб $D_y = 6 \div 300$ мм, работающие с неагрессивными и малоагрессивными средами
	Штамповки из трубных заготовок по ТУ заводов- изготовителей			На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ЧМТУ/ ЦНИИЧМ 1004—63 от пар- тии трубных заготовок	Отводы крутоизогнутые (по МН 3575—62, 3576—62 и 3577—62) $D_y = 60 \div 300$ мм, переходы концентрические (по МН 3578—62) и эксцентрические (по МН 3579—62) для трубопро- водов $D_y = 100 \div 300$ мм, шту- цера переходные (по МН 3573—62) для трубопроводов $D_y = 32 \div 175$ мм, работающих с неагрессивными и малоагрес- сивными средами
	Сталь сортовая (ГОСТ 10500—63)			На растяжение, ударную вязкость, горячую и холод- ную осадку по ГОСТу 10500—63 от партии проката	Переходы концентрические (по МН 3569—62) для трубопро- водов $D_y = 10 \div 20$ мм, штуце- ра переходные (по МН 3572—62) для трубопроводов $D_y = 6 \div$ $\div 20$ мм, работающих с неагрес- сивными и малоагрессивными средами
	Поковки (МТУ 13—60, КП25)			На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю от партии поковок	Заглушки приварные (по МН 3574—62) для трубопрово- дов $D_y = 10 \div 300$ мм, тройники равнопроходные (по МН 3570—62) для трубопроводов $D_y = 6 \div 60$ мм, тройники пе- реходные (по МН 3571—62 для трубопроводов $D_y = 10 \div 60$ мм, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	$R_{y'},$ Мн/мм ²		
12Х1МФ (ГОСТ 10500—63)	Поковки (МТУ 13—60, КП25)	От —40 до +560	16	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю от партии поковок	Переходы концентрические (по МН 3569—62) для трубопроводов $D_y = 32$ мм, тройники равнопроходные (по МН 3570—62) и тройники переходные (по МН 3571—62) для трубопроводов $D_y = 70$ мм, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами
35Х (ГОСТ 4543—61)	Сталь сортовая шестигранная (ГОСТ 10702—63)	От —50 до +450	80	На растяжение, ударную вязкость, горячую и холодную осадку по ГОСТу 10702—63 от партии проката	Гайки (по ГОСТу 10495—63) для фланцевых соединений с линзовым уплотнением трубопроводов $D_y = 6 \div 150$ мм
			64		То же, но для трубопроводов $D_y = 200$ мм
35ХМ (ГОСТ 4543—61)	Поковки (ГОСТ 8479—57 гр. IV—КП63А)	От —40 до +300	250	На растяжение и на ударную вязкость по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок, на твердость по Бринелю каждой поковки	Фланцы для трубопроводов $D_y = 25 \div 40$ мм
	Поковки (ГОСТ 8479—57, гр. IV)				Линзы
40Х (ГОСТ 4543—61)	Поковки (ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП63А)	От —40 до +300	250	На растяжение и на ударную вязкость по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок, на твердость по Бринелю каждой поковки	Фланцы для трубопроводов $D_y = 25 \div 40$ мм
	Поковки (ГОСТ 8479—57, гр. IV)				Линзы
40Х и 38ХА (ГОСТ 4543—61)	Поковки (ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП63А)	От —50 до +400	80	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок	Фланцы и штуцера под термометры сопротивления и термометры (по МН 4991—63) для трубопроводов $D_y = 6 \div 150$ мм
	Поковки (ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП60А)		64		То же для трубопроводов $D_y = 200$ мм
40Х и 38ХА (ГОСТ 4543—61)	Поковки (ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП63А)	От —50 до +400	80	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок	Фланцы резьбовые (по ГОСТу 9399—63) толщиной ≤ 95 мм для трубопроводов $D_y = 6 \div 125$ мм
			40		То же для трубопроводов $D_y = 150$ мм
	80		Фланцы резьбовые (по ГОСТу 9399—63) толщиной > 95 мм для трубопроводов $D_y = 150$ мм		
	64		То же для трубопроводов $D_y = 200$ мм		

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение	
		$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	$R_{y'} / \text{Мн/м}^2$			
30ХМА (ГОСТ 4543—61) 18ХЗМВ (ГОСТ 10500—63)	Трубы (ЧМТУ/ УкрНИТИ 518—63)	От —50 до +400	80	На растяжение, ударную вязкость (при толщине стенки свыше 12 мм) и на твердость по Бринелю по ЧМТУ/УкрНИТИ 518—63 от партии проката. Для труб с $D_n \leq 45$ мм испытание на загиб по ГОСТу 3728—66. Для труб с $D_n > 45$ мм испытание на сплющивание по ГОСТу 8695—58	Трубопроводы и отводы, гнутые из труб (по МН 4998—63 и 4972—63) $D_y = 60 \div 150$ мм, работающие с неагрессивными и малоагрессивными средами	
			64		То же, но для $D_y = 200$ мм	
			40		Штуцера резьбовые (по МН 4971—63) для трубопроводов $D_y = 6 \div 15$ мм	
			25		То же, но для трубопроводов $D_y = 25 \div 70$ мм	
	Штамповки из трубных заготовок по ТУ заводов-изготовителей		80	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ЧМТУ/ЦНИИЧМ 1153—64 от партии трубных заготовок	Переходы (по МН 4987—63 и 5009—63) для трубопроводов $D_y = 40 \div 150$ мм, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами	
			64		То же, но для трубопроводов $D_y = 200$ мм	
	Поковки (ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП45А)			80	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок	Колена (по МН 4973—63 и 4975—63), тройники переходные (по МН 4981—63, 4984—63, 5004—63 и 5006—63), линзы глухие (по МН 4970—63), карманы под термометры сопротивления и термопары (по МН 4992—63), заглушки (по МН 4995—63 и 4996—63) для трубопроводов $D_y = 6 \div 150$ мм, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами. Тройники переходные несимметричные (по 4983—63) для трубопроводов $D_y = 10 \div 150$ мм, тройники-вставки (по МН 4985—63 и 5007—63) для трубопроводов $D_y = 32 \div 150$ мм, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами. Колена с опорами (по МН 4974—63, 4976—63, 4977—63, 4999—63, 5000—63 и 5001—63), угольники с ответвлениями (по МН 4980—63 и 5003—63), тройники переходные с ответвлениями (по МН 4982—63 и 5005—63), фланцы переходные (по МН 4993—63 и 4994—63) для трубопроводов $D_y = 40 \div 150$ мм, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{ст}, ^\circ C$	$R_{y'},$ МН/мм ²		
30ХМА (ГОСТ 4543—61) 18ХЗМВ (ГОСТ 10500—63)	Поковки (ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП45А)	От —50 до +400	64	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок	Те же детали, но для трубопроводов $D_y = 200$ мм
			80		Колена двойные (по МН 4979—63 и 5002—63) для трубопроводов $D_y = 6 \div 125$ мм, угольники под термометры сопротивления и термомпары (по МН 4990—63) для трубопроводов $D_y = 6 \div 40$ мм, переходы точеные (по МН 4986—63 и 5008—63) для трубопроводов $D_y = 10 \div 40$ мм, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами
			40		Переходы точеные (по МН 4986—63 и 5008—63) для трубопроводов $D_y = 60$ мм, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами
30ХМА (ГОСТ 4543—61)	Поковки (ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП60А)	От —40 до +300	250	На растяжение и на ударную вязкость по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок, на твердость по Бринелю каждой поковки	Гайки
	Сталь сортовая шестигранная (ГОСТ 4543—61)	От —50 до +510	100 80	На растяжение, ударную вязкость, горячую и холодную осадку по ГОСТу 4543—61 от партии проката	Гайки (по ГОСТу 10495—63) для фланцевых соединений с линзовым уплотнением трубопроводов $D_y = 6 \div 150$ мм То же, но для трубопроводов $D = 200$ мм
ХЗМВ (ГОСТ 10493—63)	Поковки и штамповки (ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП45А)	От —50 до +400	50	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок	Линзы жесткие без бурта (по ГОСТу 10493—63) для трубопроводов $D_y = 6 \div 200$ мм, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами
			100		Линзы жесткие с буртом (по ГОСТу 10493—63) для трубопроводов $D_y = 40 \div 200$ мм, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами
			От —50 до +510		Линзы компенсирующие (по ГОСТу 10493—63) для трубопроводов $D_y = 40 \div 200$ мм, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами
40ХФА (ГОСТ 4543—61)	Поковки (ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП63А)	От —40 до +300	250	На растяжение и на ударную вязкость по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок, на твердость по Бринелю каждой поковки	Фланцы для трубопроводов $D_y = 25 \div 40$ мм
	Поковки (ГОСТ 8479—57, гр. IV)				Линзы

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	$R_{y'}, \text{МН/м}^2$		
40ХФА (ГОСТ 4543—61)	Сталь сортовая (ГОСТ 4543—61)	От —50 до +400	80	На растяжение, ударную вязкость, горячую и холодную осадку по ГОСТу 4543—61 от партии проката	Шпильки (по ГОСТу 10494—63) для фланцевых соединений с линзовым уплотнением трубопроводов $D_y = 6 \div 150 \text{ мм}$
			64		То же, но для трубопроводов $D_y = 200 \text{ мм}$
25Х1М1ФБР (ЧМТУ/ ЦНИИЧМ 744—62)	Поковки (ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП63А)	От —40 до +300	250	На растяжение и на ударную вязкость по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок и на твердость по Бринелю каждой поковки	Детали муфтового соединения
25Х1МФ (ГОСТ 10500—63)	Поковки (ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП71А)				Тройники
	25Х1МФ (ГОСТ 10500—63)	Поковки (ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП63А)	100	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок	Детали муфтового соединения; шпильки
25Х2МФА (ГОСТ 10500—63)		Поковки и штамповки (ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП63А)			80	Фланцы и штуцера под термометры сопротивления и термомпары (по МН 4991—63) для трубопроводов $D_y = 6 \div 150 \text{ мм}$
	25Х2МФА (ГОСТ 10500—63)		Поковки и штамповки (МТУ 13—60 и ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП60А)	100	То же, но для трубопроводов $D_y = 200 \text{ мм}$
25Х2МФА (ГОСТ 10500—63)		Поковки и штамповки (МТУ 13—60 и ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП60А)		50	Фланцы резьбовые (по ГОСТу 9399—63) толщиной $\leq 95 \text{ мм}$ для трубопроводов $D_y = 6 \div 125 \text{ мм}$
	25Х2МФА (ГОСТ 10500—63)		Поковки и штамповки (МТУ 13—60 и ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП60А)	100	То же, но для трубопроводов $D_y = 150 \text{ мм}$
25Х2МФА (ГОСТ 10500—63)		Поковки и штамповки (МТУ 13—60 и ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП60А)		80	Фланцы резьбовые (по ГОСТу 9399—63) толщиной $> 95 \text{ мм}$ для трубопроводов $D_y = 150 \text{ мм}$
	25Х2МФА (ГОСТ 10500—63)		Поковки и штамповки (МТУ 13—60 и ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП60А)	100	То же, но для трубопроводов $D_y = 200 \text{ мм}$
25Х2МФА (ГОСТ 10500—63)		Поковки и штамповки (МТУ 13—60 и ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП60А)		80	То же, но для трубопроводов $D_y = 200 \text{ мм}$
	25Х2МФА (ГОСТ 10500—63)		Поковки и штамповки (МТУ 13—60 и ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП60А)	100	Шпильки (по ГОСТу 10494—63) для фланцевых соединений с линзовым уплотнением трубопроводов $D_y = 6 \div 150 \text{ мм}$
25Х2МФА (ГОСТ 10500—63)		Поковки и штамповки (МТУ 13—60 и ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП60А)		80	То же, но для трубопроводов $D_y = 200 \text{ мм}$
	25Х2МФА (ГОСТ 10500—63)		Поковки и штамповки (МТУ 13—60 и ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП60А)	100	На растяжение, ударную вязкость, горячую и холодную осадку по ГОСТу 10500—63 от партии проката
25Х2МФА (ГОСТ 10500—63)		Поковки и штамповки (МТУ 13—60 и ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП60А)		80	То же, но для трубопроводов $D_y = 200 \text{ мм}$

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{ст}, ^\circ C$	$R_y, \text{МН/м}^2$		
25Х2М1Ф (ГОСТ 10500—63)	Поковки (МТУ 13—60 и ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП71А)	От —40 до +300	250	На растяжение и на ударную вязкость по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок, на твердость по Бринелю каждой поковки	Тройники
	Поковки (МТУ 13—60 и ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП63А)				Детали муфтового соединения
20Х3МВФ (ГОСТ 10500—63)	Поковки (ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП71А)	От —50 до +510	100	По ЧМТУ/Урал.НИТИ *	Тройники
	Трубы (ЧМТУ/ Урал НИТИ *)				Трубопроводы $D_y = 3 \div \pm 40 \text{ мм}$ для производства полиэтилена
	Трубы (ЧМТУ/ УкрНИТИ 518—63)				Трубопроводы и отводы, гнутые из труб (по МН 4998—63 и 4972—63) $D_y = 6 \div 150 \text{ мм}$ для неагрессивных и малоагрессивных сред
					То же, но для $D_y = 200 \text{ мм}$
Трубы (ЧМТУ/ УкрНИТИ 518—63)	Штуцера резьбовые (по МН 4971—63) для трубопроводов $D_y = 6 \div 15 \text{ мм}$				
	То же, но для трубопроводов $D_y = 25 \div 70 \text{ мм}$				
	Поковки (ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП60А)		100	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок	<p>Колена (по МН 4973—63 и 4975—63), тройники переходные (по МН 4981—63, 4984—63, 5004—63 и 5006—63), линзы глухие (по МН 4970—63), карманы под термометры сопротивления и термопары (по МН 4992—63), заглушки (по МН 4995—63 и 4996—63) для трубопроводов $D_y = 6 \div 150 \text{ мм}$, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами.</p> <p>Тройники переходные несимметричные (по МН 4983—63) для трубопроводов $D_y = 10 \div \pm 150 \text{ мм}$, тройники-вставки (по МН 4985—63 и 5007—63) для трубопроводов $D_y = 32 \div \pm 150 \text{ мм}$, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами.</p>

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	$R_y, \text{МН/м}^2$		
20ХЗМВФ (ГОСТ 10500—63)	Поковки (ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП60А)	От —50 до +510	100	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партий поковок	Колена с опорами (по МН 4974—63, 4976—63, 4977—63, 4999—63, 5000—63 и 5001—63), угольники с ответвлениями (по МН 4980—63 и 5003—63), тройники переходные с ответв- лениями (по МН 4982—63 и 5005—63), фланцы переход- ные (по МН 4993—63 и 4994—63) для трубопроводов $D_y = 40 \div 150$ мм, работающих с неагрессивными и малоагрес- сивными средами
			80		Те же детали, но для трубо- проводов $D_y = 200$ мм
			100		Колена двойные (по МН 4979—63 и 5002—63) для трубопроводов $D_y = 6 \div$ $+125$ мм, угольники под тер- мометры сопротивления и тер- мометры (по МН 4990—63) для трубопроводов $D_y = 6 \div 40$ мм, переходы точеные (по МН 4986—63 и 5008—63) для тру- бопроводов $D_y = 10 \div 40$ мм, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами
	50	Переходы точеные (по МН 4986—63 и 5008—63) для трубопроводов $D_y = 60$ мм, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами			
	Штамповки из трубных заготовок по ТУ заводов- изготовителей			100	На растяжение, ударную/ вязкость и на твердость по Бринелю по ЧМТУ/ ЦНИИЧМ 1153—64 от пар- тии трубных заготовок	Переходы (по МН 4987—63 и 5009—63) для трубопроводов $D_y = 40 \div 150$ мм, работаю- щих с неагрессивными и мало- агрессивными средами
80				То же, но для трубопроводов $D_y = 200$ мм	
Сталь высоколегированная коррозионностойкая, жаростойкая и жаропрочная					
Х5 (ГОСТ 5632—61)	Трубы (ГОСТ 550—58)	От —40 до +425	16	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 550—58 от партии проката	Трубопроводы и отводы, гнутые из труб (по МН 3568—62) $D_y = 6 \div 400$ мм, работающие с неагрессивными, малоагрес- сивными и агрессивными среда- ми (серосодержащими и др.)

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{ст}, ^\circ C$	$R_{y'}$ Мн/М ²		
	Штамповки из трубных заготовок по ТУ заводов- изготовителей			На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ЧМТУ/ ЦНИИЧМ 1044—63 от пар- тии трубных заготовок	Отводы крутоизогнутые (по МН 3575—62, 3576—62 и 3577—62) $D_y = 40 \div 400$ мм; переходы концентрические (по МН 3578—62) и эксцентри- ческие (по МН 3579—62) для трубопроводов $D_y = 50 \div$ 400 мм; штуцера переход- ные (по МН 3573—62) для тру- бопроводов $D_y = 40 \div 200$ мм, работающих с неагрессивными, малоагрессивными и агрессив- ными средами (серосодержащи- ми и др.)
X5 (ГОСТ 5632—61)	Сталь толстоли- стовая (ЧМТУ 1-414—68)	От —40 до +425	16	На растяжение, холодный загиб и на ударную вяз- кость по ЧМТУ 1-414—68 полностью	Штампованные крутоизо- гнутое отводы (по МН 3575—62, 3576—62 и 3577—62) $D_y =$ $= 40 \div 400$ мм; переходы концентрические (по МН 3578—62) и эксцентрические (по МН 3579—62) для трубопрово- дов $D_y = 50 \div 400$ мм, работаю- щих с неагрессивными, мало- агрессивными и агрессивными средами (серосодержащими и др.)
	Сталь сортовая (ГОСТ 5949—61)			На растяжение, ударную вязкость, горячую и холод- ную осадку по ГОСТу 5949—61 от партии проката	Переходы концентрические (по МН 3569—62) для трубо- проводов $D_y = 15 \div 25$ мм, ра- ботающих с неагрессивными, малоагрессивными и агрессив- ными средами (серосодержа- щими и др.)
	Поковки (Н 911—59)			На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок	Тройники равнопроходные (по МН 3570—62) и тройники переходные (по МН 3571—62) для трубопроводов $D_y = 15 \div$ 70 мм, работающих с неагрес- сивными, малоагрессивными и агрессивными средами (серосо- держащими и др.)
X5ВФ (ГОСТ 5632—61)	Трубы (ГОСТ 550—58)	От —40 до +550		На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 550—58 от партии проката	Трубопроводы и отводы гну- тые из труб (по МН 3558—62) $D_y = 6 \div 350$ мм, работающие с неагрессивными, малоагрес- сивными и агрессивными среда- ми (серосодержащими и др.)
X5М (ГОСТ 5632—61)	Трубы со спе- циальной термо- обработкой (ЧМТУ/ УкрНИТИ 539—64)			Трубопроводы и отводы гну- тые из труб (по МН 3558—62) $D_y = 40 \div 400$ мм, работающие с неагрессивными и малоагрес- сивными средами, и $D_y = 40 \div$ 350 мм, работающие с агрес- сивными средами (серосодер- жащими и др.)	

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	$R_{y'}МН/М^2$		
X5ВФ; X5М (ГОСТ 5632—61)	Штамповки из трубных заготовок по ТУ заводов- изготовителей	От -40 до +550	16	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ЧМТУ/ ЦНИИЧМ 1044—63 от парти- и трубных заготовок	Отводы крутоизогнутые (по МН 3575—62, 3576—62 и 3577—62) $D_y = 40 \div 400$ мм; переходы концентрические (по МН 3578—62) и эксцентрические (по МН 3579—62) для трубопро- водов $D_y = 50 \div 400$ мм; шту- цера переходные (по МН 3573—62) для трубопроводов $D_y = 40 \div 200$ мм, работающих с неагрессивными, малоагрес- сивными и агрессивными среда- ми (серосодержащими и др.)
1X8ВФ (ГОСТ 5632—61)	Сталь толстоли- стовая (ЧМТУ 1-414—68)			На растяжение, холодный загиб и на ударную вязкость по ЧМТУ 1-414—68 по- листно	Штампованные крутоизогну- тые отводы (по МН 3575—62, 3576—62 и 3577—62) $D_y =$ $= 40 \div 400$ мм; переходы кон- центрические (по МН 3578—62) и эксцентрические (по МН 3579—62) для трубопроводов $D_y = 50 \div 400$ мм, работа- ющих с неагрессивными, ма- лоагрессивными и агрессивными средами (серосодержащими и др.)
X5М (ГОСТ 5632—61)	Сталь толстоли- стовая (ГОСТ 7350—66, гр. А)			На растяжение, холодный загиб и на ударную вяз- кость по ГОСТу 7350—66 полистно	Переходы концентрические (по МН 3569—62) для трубопро- водов $D_y = 15 \div 25$ мм, работа- ющих с неагрессивными, ма- лоагрессивными и агрессивными средами (серосодержащими и др.)
X5М; X5ВФ (ГОСТ 5632—61)	Сталь сортовая (ГОСТ 10500—63)			На растяжение, ударную вязкость, горячую и холод- ную осадку по ГОСТу 10500—63 от партии проката	Штуцера переходные (по МН 3573—62) для трубопро- водов $D_y = 40 \div 200$ мм, тройники равнопроходные (по МН 3570—62) и тройники переход- ные (по МН 3571—62) для тру- бопроводов $D_y = 15 \div 70$ мм, работающих с неагрессивными, малоагрессивными и агрессив- ными средами (серосодержащи- ми и др.)
X5М-У (ГОСТ 5632—61)	Поковки (Н 911—59)			На растяжение с опреде- лением σ_s , σ_T , δ и ψ , на удар- ную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок	Тройники равнопроходные (по МН 3570—62) и тройники переходные (по МН 3571—62) для трубопроводов $D_y = 40 \div$ $\div 70$ мм, работающих с неагрес- сивными, малоагрессивными и агрессивными средами (серосо- держащими и др.)

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{см}, °C$	$R_{y'},$ МН/м ²		
1X12B2MФ (ГОСТ 5632—61)	Трубы (ЧМТУ/ Урал.НИТИ) *	От —40 до +300	250	По ЧМТУ/УралНИТИ *	Трубопроводы $D_y = 3+÷40$ мм для производства полиэтилена
X18H10T, OX17H16M3T (ГОСТ 5632—61)	Трубы (ГОСТы 9940—62 и 9941—62)	От —253 до +200	32	По ГОСТам 9940—62 и 9941—62 от партии проката или от партии трубных заготовок; на межкристаллитную коррозию по ГОСТу 6032—58 по требованию чертежа	Трубопроводы и отводы гнутые из труб (по МН 4998—63 и 4972—63) $D_y = 6÷150$ мм и штуцера резьбовые (по МН 4971—63) для трубопроводов $D_y = 6+40$ мм, работающих с агрессивными средами
20			Трубопроводы и отводы гнутые из труб (по МН 4998—63 и 4972—63) $D_y = 200$ мм и штуцера резьбовые (по МН 4971—63) для трубопроводов $D_y = 60÷70$ мм, работающие с агрессивными средами		
X18H10T (ГОСТ 5632—61)		От —253 до +600	16		Трубопроводы и отводы гнутые из труб (по МН 3558—62) $D_y = 15÷225$ мм, работающие с агрессивными средами и $D_y = 6÷350$ мм — с неагрессивными и малоагрессивными средами
X17H13M2T (ГОСТ 5632—61)		От —253 до +700			
X18H10T, OX17H16M3T (ГОСТ 5632—61)	Штамповки из трубных заготовок по ТУ заводо- изготовителей	От —253 до +200	32	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ЧМТУ/ЦНИИЧМ 1345—65 от партии трубных заготовок	Переходы штампованные (по МН 4987—63 и 5009—63) для трубопроводов $D_y = 40+÷150$ мм, работающих с агрессивными средами
20			То же, но для трубопроводов $D_y = 200$ мм		
X18H10T (ГОСТ 5632—61)		От —253 до +600	16		Переходы концентрические (по МН 3578—62) и эксцентрические (по МН 3579—62) для трубопроводов $D_y = 50+÷250$ мм, работающих с агрессивными средами и $D_y = 50+÷400$ мм — с неагрессивными и малоагрессивными средами.
X17H13M2T (ГОСТ 5632—61)					От —253 до +700	Отводы крутоизогнутые (по МН 3575—62, 3576—62 и 3577—62) для трубопроводов $D_y = 40+250$ мм, работающих с агрессивными средами, и $D_y = 40+400$ мм — с неагрессивными и малоагрессивными средами

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	$R_{\text{y}}, \text{Мн/м}^2$		
X18H10T (ГОСТ 5632—61)	Сталь толстоли- стовая (ГОСТ 7350—66, гр. А)	От —253 до +600	16	На растяжение и холод- ный загиб по ГОСТу 7350—66 от партии проката	Переходы концентрические (по МН 3578—62) и эксцен- трические (по МН 3579—62) для трубопроводов $D_y = 50 \div$ $\div 250$ мм, работающих с агрес- сивными средами, и $D_y = 50 \div$ $\div 400$ мм — с неагрессивными и малоагрессивными средами. Отводы крутоизогнутые (по МН 3575—62, 3576—62 и 3577—62) для трубопроводов $D_y = 40 \div 250$ мм, работаю- щих с агрессивными средами, и $D_y = 40 \div 400$ мм — с не- агрессивными и малоагрессив- ными средами
X17H13M2T (ГОСТ 5632—61)		От —253 до +700			
X18H10T (ГОСТ 5632—61)	Сталь сортовая (ГОСТ 5949—61)	От —253 до +600	16	На растяжение, ударную вязкость, горячую и холод- ную осадку по ГОСТу 5949—61 от партии проката	Переходы концентрические (по МН 3579—62) для трубопро- водов $D_y = 15 \div 25$ мм и шту- цера переходные (по МН 3572—62) для трубопроводов $D_y = 6 \div 25$ мм, работающих с неагрессивными, малоагрессив- ными и агрессивными средами
X17H13M2T (ГОСТ 5632—61)		От —253 до +700			
X18H10T (ГОСТ 5632—61)	Поковки (ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП22С)	От —253 до +200	32	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок	Колена (по МН 4973—63 и 4975—63), тройники переход- ные (по МН 4981—63, 4984—63, 5004—63 и 5006—63), диафрагмы измерительные линзовые (по МН 4988—63), отводы линзовые (по МН 4989—63), линзы глухие (по МН 4970—63), карманы под термометры сопротивления и термопары (по МН 4992—63), вставки для заглушек (по МН 4996—63) для трубопрово- дов $D_y = 6 \div 150$ мм, работаю- щих с агрессивными средами. Тройники переходные несим- метричные (по МН 4983—63) для трубопроводов $D_y = 10 \div$ $\div 150$ мм, работающих с агрес- сивными средами. Тройники вставки (по МН 4985—63 и 5007—63), для трубопроводов $D_y = 32 \div$ $\div 150$ мм, работающих с агрес- сивными средами. Колена с опорами (по МН 4974—63, 4976—63, 4977—63, 4999—63, 5000—63 и 5001—63), угольники с ответвлениями (по МН 4980—63 и 5003—63), тройники переходные с ответ- влениями (по МН 4982—63 и 5005—63), вставки к флан- цам переходным (по МН 4994—63) для трубопроводов $D_y = 40 \div 150$ мм, работающих с агрессивными средами
X17H13M3T (ГОСТ 5632—61)					

Продолжение табл. 2.6

Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
		$t_{ст}, ^\circ C$	$R_{y},$ Мн/м ²		
X17H13M3T (ГОСТ 5632—61)		От —253 до +200	20		Те же детали, но для трубопроводов $D_y = 200$ мм
			32		
X18H10T (ГОСТ 5632—61)	Поковки (ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП22С)	От —253 до +600	16	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок	Штуцера переходные (по МН 3573—62) для трубопроводов $D_y = 40 \div 100$ мм, работающих с агрессивными средами, и $D_y = 40 \div 200$ мм — с неагрессивными и малоагрессивными средами. Тройники равнопроходные (по МН 3570—62) для трубопроводов $D_y = 15 \div 70$ мм, работающих с агрессивными средами, и $D_y = 6 \div 70$ мм — с неагрессивными и малоагрессивными средами. Тройники переходные (по МН 3571—62) для трубопроводов $D_y = 20 \div 70$ мм, работающих с агрессивными средами, и $D_y = 15 \div 70$ мм — с неагрессивными и малоагрессивными средами
X17H13M2T (ГОСТ 5632—61)						От —253 до +700
X18H10T, OX17H16M3T (ГОСТ 5632—61)	Поковки и штамповки (ГОСТ 8479—57, гр. IV—КП22С)	От —253 до +200	32	На растяжение, ударную вязкость и на твердость по Бринелю по ГОСТу 8479—57, гр. IV от партии поковок	Линзы жесткие без бурта (по ГОСТу 10493—63) для трубопроводов $D_y = 6 \div 200$ мм, работающих с агрессивными средами

Примечания:

1. Допустимое рабочее давление для принятой ступени условного давления определяется по табл. 2.9 в зависимости от марки стали и температуры рабочей среды.
2. При рабочей температуре ниже $-30^\circ C$ для сталей марок 20, 35, 45, 18ХГ, 20ХГ, 30ХГ2, 30Х, 35Х, 40Х, 38ХА обязательным видом испытания материала является определение ударной вязкости основного металла и сварных швов при соответствующей рабочей температуре эксплуатации оборудования.

* Технические условия на поставку труб находятся в стадии согласования.

Таблица 2.7

Стали, рекомендуемые для литых деталей трубопроводов высокого давления химических производств [44]

Марка (ГОСТ. ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
	$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	R_y , Мн/м ² , не более		
25Л-III (ГОСТ 977-65)	От -40 до +450	25	Полный химический анализ, определение предела текучести, относительного удлинения и ударной вязкости по ГОСТу 977-65 поплавочно	Отводы (по МН 3994-62) и тройники равнопроходные (по МН 3997-62) для трубопроводов $D_y = 80 \div 300$ мм; отводы с патрубками (по МН 3995-62), тройники равнопроходные с патрубками (по МН 3998-62) и тройники переходные с патрубками (по МН 4001-62) для трубопроводов $D_y = 250 \div 300$ мм; тройники переходные (по МН 4000-62) для трубопроводов $D_y = 100 \div 300$ мм, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами
		16		Отводы (по МН 3994-62), тройники равнопроходные (по МН 3997-62) и тройники переходные (по МН 4000-62) для трубопроводов $D_y = 350 \div 400$ мм; тройники равнопроходные с патрубками (по МН 3998-62) для трубопроводов $D_y = 400$ мм, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами. Отводы (по МН 3994-62) и тройники равнопроходные (по МН 3997-62) для трубопроводов $D_y = 80 \div 400$ мм; отводы с патрубками (по МН 3995-62) для трубопроводов $D_y = 400$ мм; тройники равнопроходные с патрубками (по МН 3998-62) и тройники переходные с патрубками (по МН 4001-62) для трубопроводов $D_y = 350 \div 400$ мм; тройники переходные (по МН 4000-62) для трубопроводов $D_y = 100 \div 400$ мм, работающие с агрессивными средами. Отводы фланцевые (по МН 3996-62) и тройники равнопроходные с фланцами (по МН 3999-62) для трубопроводов $D_y = 80 \div 300$ мм; тройники переходные с фланцами (по МН 4002-62) для трубопроводов $D_y = 100 \div 300$ мм, работающих с неагрессивными, малоагрессивными и агрессивными средами
20Х5ТЛ (ГОСТ 2176-67)	От -40 до +425		Полный химический анализ, определение временно-го сопротивления, предела текучести и ударной вязкости по ГОСТу 2176-67 поплавочно	Отводы (по МН 3994-62), отводы с патрубками (по МН 3995-62), тройники равнопроходные (по МН 3997-62), тройники равнопроходные с патрубками (по МН 3998-62) для трубопроводов $D_y = 80 \div 400$ мм; отводы фланцевые (по МН 3996-62) и тройники равнопроходные с фланцами (по МН 3999-62) для трубопроводов $D_y = 80 \div 300$ мм; тройники переходные (по МН 4000-62) и тройники переходные с патрубками (по МН 4001-62) для трубопроводов $D_y = 100 \div 400$ мм; тройники переходные с фланцами (по МН 4002-62) для трубопроводов $D_y = 100 \div 300$ мм, работающих с неагрессивными, малоагрессивными и агрессивными средами
20Х5МЛ (ГОСТ 2176-67)	От -40 до +550			

Марка (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
	$t_{ст}$, °C	R_{y} , Мн/м ² , не более		
20ХМФЛ (МН 4003—62)	От —40 до +560	20	Полный химический анализ, определение временного сопротивления, предела текучести, относительного удлинения и ударной вязкости по МН 4003—62 поплавоочно	Отводы (по МН 3994—62), отводы с патрубками (по МН 3995—62), тройники равнопроходные (по МН 3997—62), тройники равнопроходные с патрубками (по МН 3998—62), тройники переходные (по МН 4000—62), тройники переходные с патрубками (по МН 4001—62) для трубопроводов $D_y = 100 \div 250$ мм, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами
15Х1М1ФЛ (МН 4003—62)		40			Те же детали для трубопроводов $D_y = 100 \div 300$ мм, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами
10Х18Н9ТЛ (ГОСТ 2176—67)	От —253 до +600	16	Полный химический анализ, определение механических свойств по ГОСТу 2176—67 от партий отливок	Отводы (по МН 3994—62), отводы с патрубками (по МН 3995—62), отводы фланцевые (по МН 3996—62), тройники равнопроходные (по МН 3997—62), тройники равнопроходные с патрубками (по МН 3998—62), тройники равнопроходные с фланцами (по МН 3999—62) для трубопроводов $D_y = 80 \div 250$ мм; тройники переходные (по МН 4000—62), тройники переходные с патрубками (по МН 4001—62), тройники переходные с фланцами (по МН 4002—62) для трубопроводов $D_y = 100 \div 250$ мм, работающих с неагрессивными, малоагрессивными и агрессивными средами
10Х18Н12М3ТЛ (ГОСТ 2176—67)					От —253 до +700

Примечания:

1. Допустимое рабочее давление для принятой степени условного давления определяется по табл. 2.9 в зависимости от марки стали и температуры рабочей среды.
2. При рабочей температуре ниже —30° С для отливок из стали 25Л обязательным видом испытания является определение ударной вязкости при соответствующей рабочей температуре эксплуатации оборудования.
3. Выбор марок сталей для патрубков и труб, привариваемых к литым деталям трубопроводов, производится по данным, приведенным в следующей таблице

Марки стали литых деталей	Марки стали труб, соединяемых с литыми деталями	Марки стали литых деталей	Марка стали труб, соединяемых с литыми деталями
25Л-III	20	20ХМФЛ	12ХМФ (при $p_y < 20$ Мн/м ²)
20Х5ТЛ	Х5	15Х1М1ФЛ	12ХМФ (при $p_y < 40$ Мн/м ²)
20Х5МЛ	Х5М-У	10Х18Н9ТЛ	Х18Н10Т
		10Х18Н12М3ТЛ	Х17Н13М2Т

2.2. КАЧЕСТВЕННАЯ И ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ, МЕХАНИЧЕСКИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

В табл. 2.8 приводятся сведения по качественной эксплуатационной характеристикам черных металлов сплавов, в табл. 2.10—2.17 — данные по механическим свойствам при комнатной температуре листовой и сортовой стали, труб, отливок и поковок из черных металлов

и сплавов, преимущественно применяемых в химическом аппаратостроении. Механические свойства при низких и высоких температурах приводятся в табл. 2.18—2.20. В табл. 2.21 сообщаются некоторые физические свойства черных металлов и сплавов.

Качественная и эксплуатационная характеристики, механо-технологические свойства и общая оценка коррозионной стойкости в агрессивных средах сталей, сплавов и чугунов, применяемых для аппаратуры и трубопроводов химических производств [3, 7, 15, 29, 32, 68, 88, 120, 209, 210, 213, 218]

Марка (ГОСТ, ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики	Механо-технологические свойства	Общая оценка коррозионной стойкости в агрессивных средах
ВМСт.3кп (ГОСТ 380—60)	Сталь по способу выплавки — кипящая. Характеризуется плохим раскиснением и плохим удалением серы и фосфора, что снижает качество металла. Порог хладноломкости стали лежит в интервале температур от 0° до —10° С. Из-за низкого качества применение стали для химической аппаратуры ограничено	Сталь технологична в обработке, удовлетворительно обрабатывается резанием. Сталь хорошо сваривается всеми видами сварки	Сталь неустойчива во многих агрессивных средах. Однако по отношению к некоторым средам стали показывают удовлетворительную устойчивость (расплавленная сера при температуре 445° С, сухой газообразный хлор при температуре до 60° С, 90%-ная серная кислота при температуре до 90° С, стеариновая кислота при температуре до 130° С и др.)
ВМСт.3сп (ГОСТ 380—60)	Стали по способу выплавки — спокойные. Они характеризуются хорошим раскиснением и хорошим удалением серы и фосфора, повышающее качественные показатели металла. Стали характеризуются хорошим сочетанием свойств, позволяющим применять их для химической аппаратуры ответственного назначения. Порог хладноломкости стали ВМСт.3сп лежит ниже —70° С, для стали ВМСт.5сп — ниже —20° С, а в нормализованном состоянии ниже —70° С	Сталь технологична в обработке, хорошо обрабатывается резанием и давлением. Пластические свойства стали высокие. Сталь хорошо сваривается всеми видами сварки	
ВМСт.5сп (ГОСТ 380—60)		Сталь хорошо обрабатывается резанием. Свариваемость стали удовлетворительная. При сварке необходим подогрев и последующая термообработка	
20 (ГОСТ 1050—60) 20Л (ГОСТ 977—65)	Качественная конструкционная сталь характеризуется хорошим сочетанием свойств, позволяющим применять ее в виде листового и сортового проката, труб, поковок и штамповок, а также в отливках для ответственной химической аппаратуры. Порог хладноломкости стали лежит ниже —70° С		
15К, 20К (ГОСТ 5520—62)	Качественные конструкционные стали характеризуются хорошим сочетанием механических и механо-технологических свойств, позволяющим применять их преимущественно в виде толстолистового проката для сосудов и аппаратов, работающих под давлением. Порог хладноломкости сталей лежит ниже —70° С	Стали хорошо деформируются в горячем и холодном состояниях. Штампуемость листовой стали хорошая. Обрабатываемость резанием хорошая. Стали хорошо свариваются всеми видами сварки	
25 (ГОСТ 1050—60) 25Л (ГОСТ 977—65)	Качественная конструкционная сталь, характеризуемая высокой пластичностью в холодном состоянии и повышенными механическими свойствами, позволяющими применять ее в виде поковок, отливок и сортового проката для нагруженных деталей аппаратов и трубопроводов. Порог хладноломкости горячекатаной стали лежит в интервале температур от —10° до —20° С. Отжиг стали снижает порог хладноломкости до —40° С, а нормализация или закалка с последующим отпускком — до —60° С	Сталь хорошо деформируется в горячем и холодном состояниях. Обрабатываемость резанием хорошая. Литейные свойства стали удовлетворительные. Сталь удовлетворительно сваривается всеми видами сварки	Стали неустойчивы во многих агрессивных средах

Марка (ГОСТ, ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики	Механо-технологические свойства	Общая оценка коррозион- ной стойкости в агрессивных средах
30 (ГОСТ 1050—60)	Качественная конструкционная сталь, характеризуемая повышенными механическими свойствами. Сталь широко применяется в виде сортового проката и поковок для высоконагруженных деталей аппаратов и трубопроводов. Порог хладноломкости стали лежит ниже -40°C	Сталь хорошо деформируется в горячем и холодном состояниях. Обрабатываемость резанием удовлетворительная. Сталь удовлетворительно сваривается. Необходимость подогрева при сварке устанавливается в зависимости от толщины свариваемых элементов	
35,40 (ГОСТ 1050—60) 35Л (ГОСТ 977—65)	Качественные конструкционные стали, характеризуемые повышенными механическими свойствами. Стали широко применяются в виде сортового проката, поковок и отливок для высоконагруженных деталей аппаратов и трубопроводов. Порог хладноломкости сталей лежит ниже -30°C . Закалка стали снижает порог хладноломкости до $-60^{\circ}\text{C} \div -70^{\circ}\text{C}$	Стали хорошо деформируются в горячем и холодном состояниях. Обрабатываемость резанием хорошая. При сварке сталей требуется предварительный подогрев до $200-300^{\circ}\text{C}$ и последующая термообработка	
45 (ГОСТ 1050—60) 45Л (ГОСТ 977—65)	Качественная конструкционная сталь, характеризуемая высокими механическими свойствами. Сталь применяется в виде сортового проката и отливок для высоконагруженных деталей аппаратов и трубопроводов. Порог хладноломкости горячекатаной стали лежит ниже -20°C . Отжиг стали снижает порог хладноломкости до -30°C , нормализация или закалка с последующим отпуском — до -80°C	Сталь удовлетворительно обрабатывается резанием, обладает удовлетворительными литейными свойствами. Свариваемость стали неудовлетворительная. При сварке стали необходим подогрев и немедленная последующая термообработка	Стали неустойчивы во многих агрессивных средах
16ГС (ЗН) (ГОСТ 5520—62)	Низколегированная сталь, характеризуемая повышенной прочностью и ударной вязкостью в интервале температур от -40°C до $+475^{\circ}\text{C}$. Порог хладноломкости стали лежит ниже -40°C . Сталь в виде толстолистового проката широко применяется для аппаратуры, работающей под давлением	Сталь хорошо деформируется и обрабатывается резанием. Сталь легко сваривается всеми видами сварки	
09Г2С (М) (ГОСТ 5520—62) 10Г2С1 (МК) (ГОСТ 5520—62) 10Г2 (ГОСТ 4543—61)	Низколегированные стали, характеризуемые повышенной прочностью и ударной вязкостью в интервале температур от -70°C до $+475^{\circ}\text{C}$. Порог хладноломкости сталей лежит ниже -100°C . Стали марок 09Г2С (М) и 10Г2С1 (МК) в виде толстолистового проката и сталь марки 10Г2 в виде толстолистового проката, труб, поковок и штамповок широко применяются для сварной химической аппаратуры ответственного назначения, работающей преимущественно при низких (до -70°C) температурах	Стали хорошо деформируются и обрабатываются резанием. Штампуемость листовой стали хорошая. Стали легко свариваются всеми видами сварки	

Марка (ГОСТ, ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики	Механо-технологические свойства	Общая оценка коррозион- ной стойкости в агрессивных средах
20X (ГОСТ 4543—61) 30X (ГОСТ 4543—61) 35X (ГОСТ 4543—61) 38ХА (ГОСТ 4543—61) 40X (ГОСТ 4543—61)	Легированные хромистые стали, характеризующиеся повышенной вязкостью и прочностью в термически обработанном состоянии. Стали имеют малую склонность к отпускной хрупкости и характеризуются сравнительно хорошей релаксационной стойкостью, что позволяет применять их для крепежных деталей. Стали широко применяются в виде толстолистового и сортового проката, поковок и штамповок для высоконагруженных деталей аппаратов и трубопроводов. Порог хладноломкости термически обработанной стали лежит ниже -70°C	Стали хорошо деформируются в горячем состоянии, хорошо обрабатываются резанием. Сталь 20X сваривается хорошо, стали 30X, 35X и 38ХА — удовлетворительно, а сталь 40X — плохо	
18ХГ (ГОСТ 4543—61) 38ХГ2 (ГОСТ 4543—61)	Легированные хромомарганцовые стали, характеризующиеся высокими прочностными свойствами в термически обработанном состоянии. В виде сортового проката и поковок стали широко применяются для деталей трубопроводов высокого давления	Стали хорошо обрабатываются резанием и отличаются хорошими ковочными свойствами. Свариваемость сталей неудовлетворительная	
12МХ (ЧМТУ 5759—57 или ЧМТУ/ЦНИИЧМ 957—63)	Теплоустойчивая до температуры 540°C сталь, широко применяемая в виде толстолистового проката для аппаратов, работающих при температурах стенки от 450°C до 540°C	Стали хорошо обрабатываются резанием и хорошо свариваются. После сварки требуется термическая обработка изделия	Стали неустойчивы во многих агрессивных средах
12ХМ (ЧМТУ 5759—57 или ЧМТУ/ЦНИИЧМ 957—63)	Хромомолибденовая теплоустойчивая до температуры 560°C сталь, широко применяемая в виде толстолистового проката для аппаратов, работающих при температурах стенки от 450°C до 560°C	Стали хорошо обрабатываются резанием и хорошо свариваются. После сварки требуется термическая обработка изделия	
15ХМ (ГОСТ 4543—61)	Хромомолибденовая теплоустойчивая до температуры 560°C сталь, применяемая в виде поковок для аппаратов, работающих при температурах стенки от 450°C до 560°C	Сталь хорошо деформируется в горячем состоянии и хорошо обрабатывается резанием. Сталь удовлетворительно сваривается	
20ХМЛ (ГОСТ 7832—65)	Хромомолибденовая теплоустойчивая до температуры 540°C сталь, применяемая в виде отливок для деталей трубопроводов химических производств, работающих при повышенных температурах стенки	Сталь обладает удовлетворительными литейными свойствами, хорошо обрабатывается резанием и удовлетворительно сваривается	

Марка (ГОСТ, ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики	Механо-технологические свойства	Общая оценка коррозион- ной стойкости в агрессивных средах
30ХМА (ГОСТ 4543—61)	Высококачественная хромомолибденовая сталь, характеризующаяся высокой прочностью, вязкостью и пластичностью в холодном состоянии. Сталь теплоустойчива до температуры 540°С, не склонна к снижению ударной вязкости в условиях длительного пребывания при повышенных температурах. Благодаря хорошей релаксационной стойкости сталь особенно ценна для крепежных деталей, работающих при высоких (до 510°С) температурах. Сталь широко применяется в виде труб, сортового проката и поковок для деталей трубопроводов высокого давления, работающих при повышенных температурах стенки	Сталь хорошо обрабатывается резанием и удовлетворительно сваривается с предварительным подогревом металла до температуры 175°С. После сварки требуется термическая обработка изделия	
12ХМФ (ГОСТ 550—58)	Хромомолибденованадиевая сталь теплоустойчива до температуры 560°С. Применяется в виде труб, сортового проката и поковок для деталей трубопроводов высокого давления	Стали хорошо деформируются в горячем состоянии, хорошо обрабатываются резанием и хорошо свариваются с предварительным нагревом изделия перед сваркой до температуры 300°С. После сварки необходима термообработка сварных швов	Стали неустойчивы во многих агрессивных средах
12Х1МФ (ГОСТ 10500—63)	Хромомолибденованадиевая сталь, теплоустойчива до температуры 585°С. Применяется в виде труб для деталей трубопроводов высокого давления, работающих при повышенных температурах стенки		
20ХМФЛ (МН 4003—62)	Хромомолибденованадиевая сталь, теплоустойчива до температуры 560°С. Применяется в виде отливок для деталей трубопроводов высокого давления, работающих при повышенных температурах стенки	Сталь обладает удовлетворительными литейными свойствами, хорошо обрабатывается резанием и удовлетворительно сваривается	
14ХГС (ГОСТ 5058—65)	Хромомарганцовокремнистая сталь, характеризующаяся повышенной прочностью и хорошим сочетанием свойств, позволяющим применять ее в виде труб для трубопроводов высокого давления	Сталь хорошо обрабатывается резанием и удовлетворительно сваривается	

Марка (ГОСТ, ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики	Механо-технологические свойства	Общая оценка коррозион- ной стойкости в агрессивных средах
Х5 (ГОСТ 5632—61)	Хромистая сталь, жаропрочна до температуры 425°С. Она широко применяется в виде труб, толстолистового проката, поковок и штамповок для аппаратов и трубопроводов химических производств	Стали удовлетворительно обрабатываются резанием. Стали трудно свариваются из-за склонности к закалке на воздухе. Сварные швы вследствие закалки получаются хрупкими, из-за чего в условиях эксплуатации могут появляться трещины.	
Х5М (ГОСТ 5632—61) 20Х5МЛ (ГОСТ 2176—67) Х5ВФ (ГОСТ 5632—61) Х8ВФ (ГОСТ 550—58) 1Х8ВФ (ГОСТ 5632—61) 20Х8ВЛ (ГОСТ 2176—67)	Хромомолибденовые стали Х5М и 20Х5МЛ, хромовольфрамовая сталь 20Х8ВЛ и хромовольфрамованадиевые стали Х5ВФ, Х8ВФ и 1Х8ВФ жаропрочны до температуры 550°С и теплоустойчивы в горячих серосодержащих продуктах. Благодаря этим свойствам стали получили широкое применение в виде труб, толстолистового проката, поковок, штамповок и отливок для деталей трубопроводов химических производств, работающих с серосодержащими продуктами при повышенных температурах стенки. Механические свойства сталей существенно повышаются после термообработки. Термически обработанные стали с улучшенными свойствами обозначаются добавкой буквы У к марке стали (Х5М-У)	Стали свариваются с предварительным подогревом при температурах 350—400°С. После окончания сварки изделие медленно охлаждается до температуры не ниже 150°С, после чего подвергается термообработке по режиму: нагрев до температуры 760—800°С, выдержка при этой температуре в течение 1 ч на 10 мм толщины свариваемого металла, охлаждение до 650°С со скоростью 25—30° в час, а затем на воздухе	Стали устойчивы в серосодержащих средах при высоких температурах технологического процесса
Х3МВ (ГОСТ 10493—63) 18Х3МВ (ГОСТ 10500—63) 25Х1МФ (ГОСТ 10500—63) 25Х2МФА (ЧМТУ 5664—56) 20Х3МВФ (ГОСТ 10500—63)	Хромомолибденовольфрамовые стали Х3МВ и 18Х3МВ, хромомолибденованадиевые стали 25Х1МФ и 25Х2МФА и хромомолибденовольфрамованадиевая сталь 20Х3МВФ характеризуются повышенной прочностью и вязкостью, стали теплоустойчивы до температуры 550°С и не склонны к снижению ударной вязкости в условиях длительного пребывания при повышенных температурах. Сталь 25Х2МФА в нормализованном состоянии с последующим отпуском приобретает высокую релаксационную стойкость, а в закаленном и отпущенном состоянии снижает чувствительность к надрезу в условиях длительного разрыва. Стали в виде сортового проката и поковок широко применяются для деталей аппаратов и трубопроводов высокого давления, работающих при повышенных температурах стенок	Стали хорошо деформируются в горячем состоянии и хорошо обрабатываются резанием	Стали неустойчивы во многих агрессивных средах
40ХФА (ГОСТ 4543—61) 50ХФА (ГОСТ 2052—53)	Высококачественные хромованадиевые стали, характеризующиеся в термообработанном состоянии высокой прочностью (временным сопротивлением и пределом текучести). Пластичность стали в холодном состоянии низкая. Порог хладноломкости термически обработанной стали 50ХФА лежит ниже —100°С. Стали в виде сортового проката широко применяются для крепежных деталей и высоконагруженных пружин	Стали удовлетворительно обрабатываются резанием. Свариваемость сталей плохая	

Марка (ГОСТ, ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики	Механо-технологические свойства	Общая оценка коррозионной стойкости в агрессивных средах
0X13 (ЭИ496) (ГОСТ 5632—61)	Сталь характеризуется высокими механическими свойствами в термообработанном состоянии, высокой сопротивляемостью к задирам при трении о другой металл. Сталь теплоустойчива до температуры 540° С и устойчива против окисления при температурах до 750—800° С	Стали удовлетворительно деформируются в горячем и холодном состояниях и удовлетворительно обрабатываются резанием. Стали удовлетворительно свариваются всеми видами сварки. Во избежание образования трещин при сварке необходим общий или местный подогрев стали до 200—300° С. Для повышения пластических характеристик и коррозионной стойкости сварного соединения рекомендуется подвергать изделия термической обработке по режиму: нагрев до 950° С, охлаждение на воздухе и последующий отпуск при 700° С. В тех случаях, когда термообработку изделия осуществить невозможно, следует подвергать местному кратковременному отпуску при указанной выше температуре только сварное соединение	Сталь обладает высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях, речной и водопроводной воде и удовлетворительной стойкостью в азотной кислоте при комнатной температуре. Наивысшая коррозионная стойкость достигается после закалки и полирования. Сталь весьма устойчива в горячей нефтяной среде, содержащей сернистые соединения и сероводород
1X13 (ГОСТ 5632—61) 10X13Л (ГОСТ 2176—67)	Сталь характеризуется высокими механическими свойствами в термообработанном состоянии и обладает хорошей релаксационной стойкостью, что позволяет применять ее в виде сортового проката для крепежных деталей, работающих при повышенных температурах. Ударная вязкость стали при комнатной и повышенной температурах высокая. Сталь подвержена отпускной хрупкости в интервале температур 400—550° С, сопровождающаяся падением ударной вязкости. Сталь способна закаливаться при охлаждении с высоких температур на воздухе. Сталь в термически обработанном состоянии имеет порог хладноломкости —60° С	Стали удовлетворительно деформируются в горячем и холодном состояниях и хорошо обрабатываются резанием. Сталь 2X13 удовлетворительно сваривается всеми видами сварки. После сварки необходима термообработка: отжиг при температуре 730—780° С с охлаждением на воздухе	Сталь обладает высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях, в речной и водопроводной воде и удовлетворительно стойкостью в азотной кислоте при комнатной температуре. Наивысшая коррозионная стойкость стали достигается после закалки и полирования. Сталь устойчива в горячей нефтяной среде, содержащей сернистые соединения и сероводород
2X13 (ГОСТ 5632—61) 20X13ТЛ (ГОСТ 2176—67) 3X13 (ГОСТ 5632—61)	Стали характеризуются высокими механическими свойствами в термообработанном состоянии. Стали 2X13 и 20X13ТЛ устойчивы против окисления в воздушной среде при температуре до 700° С. Порог хладноломкости термообработанной стали марки 2X13 лежит ниже —80° С, стали 3X13 — ниже —50° С	Стали удовлетворительно деформируются в горячем и холодном состояниях и хорошо обрабатываются резанием. Сталь 2X13 удовлетворительно сваривается всеми видами сварки. После сварки необходима термообработка: отжиг при температуре 730—780° С с охлаждением на воздухе	Стали обладают высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях, в речной и водопроводной воде. Наивысшая стойкость достигается после термообработки и полирования

Марка (ГОСТ, ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики	Механо-технологические свойства	Общая оценка коррозион- ной стойкости в агрессивных средах
<p>X17 (ГОСТ 5632—61)</p> <p>0X17T (ГОСТ 5632—61)</p>	<p>Стали характеризуются высокой коррозионной стойкостью в окислительной среде и жаростойкостью до температуры 700°С. Сталь X17 чувствительна к перегреву. При нагревании выше 1000°С структура стали становится гетерогенной и крупнозернистой, в результате чего появляется хрупкость и снижается стойкость против коррозии. Сталь 0X17T менее чувствительна к перегреву. При охлаждении с высоких температур на воздухе стали частично закаляются</p>	<p>Стали удовлетворительно обрабатываются резанием. Свариваемость сталей удовлетворительная. Сварка стали X17 производится с предварительным подогревом кромок до температуры 200—300°С. Сразу же после сварки требуется термообработка изделий, состоящая в нагреве до 760—780°С с последующим охлаждением на воздухе</p>	<p>Стали стойки в азотной кислоте всех концентраций при комнатной температуре, устойчивы в азотной кислоте концентрации <math>\leq 66\%</math> при температуре до 70°С и в кипящей азотной кислоте концентрации до 60%. Стали стойки в фосфорной кислоте концентрации до 21% при любой температуре до температуры кипения включительно, 55%-ной концентрации при температуре до 85°С и 85%-ной концентрации при температуре до 65°С. Стали устойчивы в уксусной кислоте любой концентрации при любой температуре до температуры кипения включительно, в муравьиной кислоте 25%-ной концентрации при температуре до 20°С, 45%-ной концентрации при температуре до 40°С и 85%-ной концентрации при температуре до 70°С. Сталь 0X17T обладает повышенной сопротивляемостью межкристаллитной коррозии</p>
<p>X25T (ГОСТ 5632—61)</p> <p>15X25TL (ГОСТ 2176—67)</p>	<p>Сталь характеризуется высокой коррозионной стойкостью в окислительной среде, жаростойкостью до температуры 700°С и окалиностойкостью до температуры 1100°С</p>	<p>Сталь удовлетворительно обрабатывается резанием и обладает хорошими литейными свойствами. Сталь удовлетворительно сваривается с предварительным подогревом металла до температуры 200°С. После сварки требуется термообработка изделия, состоящая в нагреве его до 720—780°С с последующим быстрым охлаждением</p>	<p>Сталь стойка в дымящейся азотной и фосфорной кислотах различных концентраций при температуре до 70°С, в уксусной кислоте при температуре до 40°С, в растворах гипохлорита натрия и в других агрессивных средах. Сталь обладает удовлетворительной сопротивляемостью межкристаллитной коррозии</p>

Марка (ГОСТ, ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики	Механо-технологические свойства	Общая оценка коррозион- ной стойкости в агрессивных средах
X28 (ГОСТ 5632—61) 75X28Л (ГОСТ 2176—67)	Сталь характеризуется высокой коррозионной стойкостью в окислительной среде, высокой жаростойкостью до 1000° С и высокой износостойкостью. Сталь в жидком состоянии чувствительна к перегреву и к развитию транскристаллизации, а также склонна к образованию в отливках напряжений, трещин, плен и черных пятен. Сталь обладает хорошей жидкотекучестью (как у ковкого чугуна) и плотностью, благодаря чему из нее можно получать тонкостенные литые изделия. При нагреве до температур >800—850° С сталь склонна к росту зерна	Сталь удовлетворительно обрабатывается резанием, плохо куется и прокатывается и поэтому преимущественно применяется в отливках. Для предотвращения образования дефектов в отливках рекомендуется возможно более низкая температура заливки металла (1370—1400° С). При разливке стали с высокой температурой рекомендуется модифицировать ее азотом, смесью ферросилиция и титана или титаном 0,5—1,0%. Свариваемость стали удовлетворительная. При сварке необходим предварительный подогрев металла до температуры 200° С	Сталь стойка в тех же средах, в которых устойчива сталь X25Т. Она стойка также в атмосфере сернистых газов, в расплавах свинца, цинка, алюминия и в других агрессивных средах. Сварные соединения склонны к межкристаллитной коррозии
X28АН (ГОСТ 5632—61)	Сталь характеризуется высокой коррозионной стойкостью в окислительной среде при температурах до 1000° С и высокой сопротивляемостью термической усталости. У стали отсутствует склонность к образованию трещин	Сталь удовлетворительно обрабатывается резанием. Она хорошо сваривается и имеет высокие прочностные свойства в сварном соединении. Термообработки изделий после сварки не требуется. Однако для снятия напряжения после сварки и штамповки, а также для снятия наклепа после холодной деформации сложные узлы рекомендуется подвергать нормализации с температурой 900° С	Сталь стойка в тех же средах, в которых устойчива сталь X25Т. Сталь не имеет склонности к межкристаллитной коррозии. Коррозионная стойкость сварных швов повышается после отжига изделия в течение 0,5—2 ч при температуре 930—950° С. Эти изделия устойчивы в азотной, уксусной и фосфорной кислотах при температурах вплоть до температуры кипения
185X34Л (ГОСТ 2176—67)	Сплав характеризуется высокой жаростойкостью (до 1100° С) и износостойкостью. Сплав в жидком состоянии чувствителен к перегреву и к развитию транскристаллизации, а также склонен к образованию в отливках напряжений, трещин, плен и черных пятен. Сплав обладает хорошей жидкотекучестью (как у ковкого чугуна) и плотностью, благодаря чему из него можно получать тонкостенные литые изделия	Сплав трудно обрабатывается резанием. Для предотвращения образования дефектов в отливках рекомендуется возможно более низкая температура заливки металла (1370—1400° С). При разливке сплава с более высокой температурой рекомендуется модифицировать его азотом, смесью ферросилиция с титаном или титаном 0,5—1,0%	Сплав показывает высокую стойкость в концентрированной серной кислоте (концентрации выше 62%), достаточно стоек в 70%-ной фосфорной кислоте, удовлетворительно стоек в кипящей азотной кислоте концентрации до 50%. Сплав стоек в атмосфере сернистых газов, расплавов свинца, цинка, алюминия и в других средах

Марка (ГОСТ, ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики	Механо-технологические свойства	Общая оценка коррозион- ной стойкости в агрессивных средах
1X17H2 (ГОСТ 5632—61)	<p>Сталь в термически обработанном состоянии обладает высокими прочностными свойствами и достаточной вязкостью. После цементации и термообработки сталь обладает высокой твердостью и износоустойчивостью. Порог хладноломкости термически обработанной стали (закалка с 950—1040° С в масле с последующим отпуском при 450—680° С) лежит ниже —70° С</p>	<p>Сталь хорошо поддается горячей и холодной штамповке, хорошо обрабатывается резанием. Сталь хорошо сваривается всеми видами сварки</p>	<p>Сталь устойчива в азотной кислоте 6%-ной концентрации при любой температуре до кипения включительно, 30%-ной концентрации — до 80° С, 40%-ной концентрации до 75° С и 60%-ной концентрации — до 70° С. В фосфорной кислоте концентрации ≤55% сталь устойчива при любой температуре до кипения вкл. и в кислоте 85%-ной концентрации при температуре до 85° С. Сталь показывает высокую стойкость в уксусной кислоте любой концентрации при любой температуре до кипения вкл., в муравьиной кислоте 15%-ной концентрации при температуре до 70° С, в 85%-ной концентрации до 40° С и в 45%-ной концентрации до 20° С. Сварные соединения в зоне термического влияния обладают пониженной стойкостью к межкристаллитной и общей коррозии. Для повышения коррозионной стойкости сварных соединений необходим общий или местный нагрев изделия до 720° С с охлаждением на воздухе</p>
X16H6	<p>Сталь обладает хорошим сочетанием прочности, пластичности и вязкости в продольном и поперечном направлениях в упрочненном состоянии. Для обеспечения высокой коррозионной стойкости необходима термическая обработка: закалка 975° С, обработка холодом при —70° С в течение 12 ч, старение 350—380° С</p>	<p>Сталь трудно сваривается ручной электродуговой и другими видами сварки. При сварке необходим подогрев и последующая термообработка по такому же режиму, как и для обеспечения высокой коррозионной стойкости основного металла</p>	<p>В состоянии после закалки и низкотемпературной обработки холодом, старения коррозионная стойкость в азотной кислоте близка к стойкости стали X18H10T</p>

Марка (ГОСТ, ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики	Механо-технологические свойства	Общая оценка коррозион- ной стойкости в агрессивных средах
<p>1X21H5T, 0X21H5T (ГОСТ 5632—61)</p>	<p>Стали характеризуются повышенными прочностными свойствами. Порог хладноломкости сталей лежит ниже -100°C. Стали склонны к охрупчиванию в условиях эксплуатации при высокой температуре, вследствие чего они могут применяться при их нагреве не выше 300°C</p>	<p>Стали деформируются в горячем и холодном состояниях и удовлетворительно свариваются различными видами сварки. Прочность сварных соединений не ниже 0,9 от прочности основного металла. Склонность к образованию горячих трещин при сварке меньше, чем у стали X18H10T</p>	<p>Стали устойчивы в азотной кислоте концентрации до 55% при температуре до 55°C, в контактной 98%-ной серной кислоте при температуре $50-70^{\circ}\text{C}$, синтетической мочевины концентрации 55—65% при температуре $\leq 110^{\circ}\text{C}$ и в ряде других агрессивных сред. Стали показывают высокую стойкость против межкристаллитной коррозии как в состоянии поставки (после закалки с 1000°C), так и после различных проволочных нагревов в интервале $550-750^{\circ}\text{C}$, а также высокую сопротивляемость коррозионному растрескиванию. Сварные соединения, выполненные аустенитными электродами, также стойки против межкристаллитной коррозии</p>
<p>0X21H6M2T (ГОСТ 5632—61)</p>	<p>Сталь характеризуется повышенными прочностными свойствами. Порог хладноломкости стали лежит ниже -100°C. Сталь склонна к охрупчиванию в условиях эксплуатации при высокой температуре, вследствие чего рекомендуется применять ее при нагреве не выше 300°C</p>	<p>Сталь деформируется в горячем и холодном состояниях и удовлетворительно сваривается всеми видами сварки. Прочность сварных соединений не ниже 0,9 от прочности основного материала. Склонность к образованию горячих трещин при сварке меньше, чем у стали X18H10T. К образованию холодных трещин сварные соединения не склонны</p>	<p>Сталь устойчива в муравьиной, уксусной, молочной, щавелевой (концентрации $\leq 5\%$) кислотах, а также в фосфорной кислоте, содержащей фтористые соединения, борной кислоте с примесью серной (до 10%), кремнефтористоводородной (до 1%) при температуре $\leq 40^{\circ}\text{C}$. Сталь обладает хорошей сопротивляемостью к межкристаллитной коррозии и повышенной сопротивляемостью к коррозионному растрескиванию. Сварные соединения также устойчивы против межкристаллитной коррозии</p>

Марка (ГОСТ, ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики	Механо-технологические свойства	Общая оценка коррозион- ной стойкости в агрессивных средах
X15H9Ю (ГОСТ 5632—61)	В термически обработанном состоянии сталь характеризуется высокими прочностными свойствами, коррозионной устойчивостью во многих агрессивных средах и износостойкостью. Максимальную пластичность сталь приобретает после нормализации с температуры 1000—1050° С. После мартенситного превращения, имеющем место при понижении температуры нормализации до 650—850° С и старения повышается хрупкость стали и снижается ее коррозионная стойкость	Наилучшая механическая обрабатываемость стали обеспечивается предварительной нормализацией при 760° С (2 ч) и отпуском при 650° С (2 ч) с охлаждением на воздухе. Все формовочные операции рекомендуется производить после нормализации с температуры 1000—1050° С. Ковка стали производится в температурном интервале 800—1150° С (нагрев в электрических печах). Сталь хорошо сваривается как между собой, так и с другими сталями аустенитного и аустенитно-ферритного класса. Прочность сварного соединения, выполненного автоматической аргоно-дуговой сваркой после полного цикла термической обработки, должна составлять не менее 85% прочности основного металла	Коррозионная стойкость стали в агрессивных средах несколько ниже коррозионной стойкости стали X18H10T, но значительно выше стойкости сталей типа X13. Наилучшая коррозионная стойкость стали достигается следующей термообработкой: нормализация при температуре 1000±25° С, обработка холодом при температуре —70° С и старение при температурах 350—380° С. Электрическая или механическая полировка также повышает коррозионную стойкость стали
X14Г14НЗТ (ГОСТ 5632—61)	Сталь обладает повышенной прочностью и высокой пластичностью при комнатной температуре и имеет хорошее сочетание свойств при низких (до —196° С) температурах. Порог хладноломкости стали лежит ниже —196° С	Сталь хорошо деформируется в горячем и холодном состоянии и хорошо обрабатывается резанием. Сталь хорошо сваривается всеми видами сварки. После сварки технической обработки изделий не требуется	Сталь не имеет склонности к межкристаллитной коррозии
0X18H10T (ГОСТ 5632—61)	Сталь обладает удовлетворительными прочностными свойствами, хорошими пластическими свойствами и жаропрочна при температуре до 650° С. Сталь обладает повышенной вязкостью и склонна к задиранию при трении о другой металл, имеющий одинаковую или близкую с ней твердость	Сталь удовлетворительно обрабатывается давлением и резанием и технологична в обработке. Свариваемость стали хорошая	Сталь характеризуется высокой коррозионной стойкостью и окалиностойкостью во многих агрессивных средах. Она отличается повышенной по сравнению со сталью X18H10T стойкостью против межкристаллитной коррозии и стойка против коррозии ножевого типа. Сталь подвержена коррозионному растрескиванию (коррозии под напряжением) в средах, содержащих хлориды магния, кальция, аммония, лития, натрия, цинка, ртути, и влажный сероводород

Марка (ГОСТ, ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики	Механо-технологические свойства	Общая оценка коррозион- ной стойкости в агрессивных средах
<p>X18H10T (ГОСТ 5632—61)</p> <p>10X18H9TЛ (ГОСТ 2176—67)</p>	<p>Сталь обладает удовлетворительными прочностными свойствами, в термообработанном состоянии отличается высокой пластичностью и жаропрочна при температуре до 650° С.</p> <p>Сталь обладает повышенной вязкостью и склонностью к задираннию при трении о другой металл, имеющих одинаковую или близкую с ней твердость</p>	<p>Сталь технологична в обработке, хорошо деформируется в горячем и холодном состояниях. Штампуемость стали хорошая.</p> <p>Сталь хорошо сваривается всеми видами сварки и не требует обязательной термической обработки изделия после сварки</p>	<p>Сталь характеризуется высокой коррозионной стойкостью во многих агрессивных средах. Сталь склонна к межкристаллитной коррозии при нагреве в интервале температур 500—800° С, к коррозии ножевого типа при работе сварных соединений в азотной кислоте, мочеvine и в некоторых других средах, а также к точечной коррозии.</p> <p>Сталь склонна к коррозионному растрескиванию в средах, содержащих хлориды магния, кальция, аммония, лития, натрия, цинка, ртути, во влажных органических веществах, содержащих хлор (хлороформе, дихлорэтане, четыреххлористом углеводе и др.), в бромистых, фтористых и йодистых солях, в концентрированных растворах едкого натра (при температурах выше 200° С), в растворах щелочей, содержащих сульфиды и сероводород. Склонность стали к коррозионному растрескиванию может быть предотвращена в результате стабилизирующего отжига металла при 900—920° С, с выдержкой в течение 1—2 ч и последующим охлаждением на воздухе</p>
<p>0X18H12Б (ГОСТ 5632—61)</p>	<p>Сталь обладает удовлетворительными прочностными свойствами, хорошими пластическими свойствами и жаропрочна до 650° С</p>	<p>Сталь технологична в обработке, хорошо деформируется в горячем и холодном состояниях и хорошо сваривается всеми видами сварки</p>	<p>Сталь характеризуется высокой коррозионной стойкостью во многих агрессивных средах, удовлетворительно стойка против межкристаллитной коррозии и стойка против коррозии ножевого типа</p>

Марка (ГОСТ, ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики	Механо-технологические свойства	Общая оценка коррозион- ной стойкости в агрессивных средах
Х17Н13М2Т (ГОСТ 5632—61) 0Х17Н13М2Т (ЧМТУ/ЦНИИЧМ 222—59) Х17Н13М3Т (ГОСТ 5632—61) 10Х18Н12М3ТЛ (ГОСТ 2176—67) 0Х17Н16М3Т (ГОСТ 5632—61)	Стали характеризуются удовлетворительными прочностными свойствами, хорошими пластическими свойствами и жаропрочностью до 700° С	Стали технологичны в обработке, хорошо деформируются в горячем и холодном состояниях и хорошо свариваются всеми видами сварки	Стали характеризуются более высокой по сравнению со сталями типа 18—8 коррозионной стойкостью во многих агрессивных средах. Стали с очень низким содержанием углерода (до 0,03—0,05%) показывают удовлетворительную стойкость против межкристаллитной коррозии в условиях кратковременного нагрева в интервале умеренных температур (сварка). Стали склонны к коррозионному растрескиванию в соответствующих средах аналогично сталям типа 18—8
Х23Н18 (ГОСТ 5632—61) 0Х23Н18 (ГОСТ 5632—61)	В аустенизированном состоянии стали обладают высокой пластичностью; допускают глубокую вытяжку и другие виды холодной штамповки. Стали склонны к охрупчиванию под влиянием тепловых выдержек при температуре 600—800° С	Стали технологичны в обработке, хорошо деформируются в горячем и холодном состояниях. Стали хорошо свариваются газовой, электродуговой и атомно-водородной сваркой. Для получения сварного шва, стойкого против вибрации, рекомендуется применять атомно-водородную сварку с газовой завесой из горячего водорода с противоположной стороны шва для предохранения его от окисления	—
С15; С17 (ферросилиды) (ГОСТ 2233—43)	Сплавы характеризуются высокой жаростойкостью, эрозионной стойкостью и износостойкостью. Они отличаются высокой твердостью и хрупкостью	Сплавы обладают хорошими литейными свойствами. Они обрабатываются преимущественно наждаками при обильном смачивании. Детали простой конфигурации можно обрабатывать резанием с применением резцов из твердых сплавов с малой подачей и скоростью резания. Дефекты в отливках исправляются сваркой	Сплавы стойки во многих агрессивных средах (кислотах, щелочах, растворах солей)
МФ-15 (ГОСТ 203—41)	Сплав обладает высокой эрозионной стойкостью и износостойкостью	Сплав обладает хорошими литейными свойствами. Отливки получаются плотными. Дефекты в отливках исправляются сваркой	Сплав стоек в горячих кислотах, особенно в концентрированной соляной кислоте и во многих других агрессивных средах

Таблица 2.9

Допустимые рабочие давления соединительных частей трубопроводов для принятой ступени условного давления в зависимости от марок сталей и температуры рабочей среды (по ГОСТу 356—68)

Марка стали	Температура (наибольшая) рабочей среды, °С													
ВМСт.Зкп; ВМСт.Зсп; 10; 20; 25; 20Л; 25Л	200	250	300	350	400	425	435	445	455					
14ХГС			320	370										
12ХМФ; 12Х1МФ; 0ХМФЛ; 15Х1М1ФЛ		320	450	510	520	530	540	550	560	570				
Х5; 20Х5Л		325	390	425										
Х5М; 20Х5МЛ; Х5ВФ; 20Х5ВЛ				430	450	470	490	500	510	520	530	540	550	
Х18Н10Т; 10Х18Н9ТЛ		300	400	480	520	560	590	610	630	640	660	675	690	
Давления избыточные условные p_u , Мн/м ²	Допустимые рабочие избыточные давления (наибольшие) p_c , Мн/м ² , при вышеуказанных температурах среды													
0,1	0,1	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	—	—	—	—	—	
0,25	0,25	0,22	0,20	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	
0,4	0,4	0,36	0,32	0,28	0,25	0,22	0,20	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10	
0,6	0,6	0,56	0,50	0,45	0,40	0,36	0,32	0,28	0,25	0,22	0,20	0,18	0,16	
1,0	1,0	0,90	0,80	0,70	0,64	0,56	0,50	0,45	0,40	0,36	0,32	0,28	0,25	
1,6	1,6	1,40	1,25	1,10	1,00	0,90	0,80	0,70	0,64	0,56	0,50	0,45	0,40	
2,5	2,5	2,20	2,00	1,80	1,60	1,40	1,25	1,10	1,00	0,90	0,80	0,70	0,64	
4,0	4,0	3,60	3,20	2,80	2,50	2,20	2,00	1,80	1,60	1,40	1,25	1,10	1,00	
6,4	6,4	5,60	5,00	4,50	4,00	3,60	3,20	2,80	2,50	2,20	2,00	1,80	1,60	
10	10	9,00	8,00	7,10	6,40	5,60	5,00	4,50	4,00	3,60	3,20	2,80	2,50	
16	16	14,0	12,5	11,2	10,0	9,0	8,0	7,1	6,4	5,6	5,0	4,5	4,0	
20	20	18,0	16,0	14,0	12,5	11,2	10,0	9,0	8,0	7,1	6,4	5,6	5,0	
25	25	22,5	20,0	18,0	16,0	14,0	12,5	11,2	10,0	9,0	8,0	7,1	6,4	
32	32	28,0	25,0	22,5	20,0	18,0	16,0	14,0	12,5	11,2	10,0	9,0	8,0	
40	40	36,0	32,0	28,0	25,0	22,5	20,0	18,0	16,0	14,0	12,5	11,2	10,0	

Давления избыточные условные p_u , Мн/м ²	Допустимые рабочие избыточные давления (наибольшие) p_c , Мн/м ² при вышеуказанных температурах среды												
50	50	45,0	40,0	36,0	32,0	28,0	25,0	22,5	20,0	18,0	16,0	14,0	12,5
64	64	56,0	50,0	45,0	40,0	36,0	32,0	28,0	25,0	22,5	20,0	18,0	16,0
80	80	71,0	64,0	56,0	50,0	45,0	40,0	36,0	32,0	28,0	25,0	22,5	20,0
100	100	90,0	80,0	71,0	64,0	56,0	50,0	45,0	40,0	36,0	32,0	28,0	25,0

Примечания:

1. Рабочие давления для промежуточных значений температуры среды определяются линейной интерполяцией между ближайшими значениями, указанными в таблице.

При определении величины условного давления по рабочему давлению и температуре среды допускается превышение рабочего давления не более, чем на 5% от указанного в таблице для заданной температуры без перехода к высшей ступени условного давления.

2. Стали, прочностные характеристики которых изменяются при повышенных температурах соответственно указанным в таблице изменениям наибольшего рабочего давления, могут быть отнесены к указанным в настоящей таблице соответствующим группам сталей.

В случае применения сталей, которые по своим прочностным характеристикам не могут быть отнесены ни к одной из указанных в таблице групп сталей, соответствующие ступени температур устанавливаются техническими условиями, составленными с соблюдением принятых в таблице ступеней условных и рабочих давлений.

Таблица 2.10

Механические свойства листовой стали

Марка стали и ГОСТ или ТУ на технические требования к листовому прокату	Толщина листов, мм	σ_b	σ_T	δ_5 , %	a_n , Мдж/м ²	Марка стали и ГОСТ или ТУ на технические требования к листовому прокату	Толщина листов, мм	σ_b	σ_T	δ_5 , %	a_n , Мдж/м ²				
		Мн/м ²						Мн/м ²							
		не менее						не менее							
ВМСт.3кп ГОСТ 500-58	4-20	380	240	25	0,8 *	Ст.5 СТУ62 01 26-62	62-160	480	260	14	0,5				
	21-40		220									0,7 *			
	41-60		210												
ВМСт.3сп ГОСТ 500-58	4-20	380	240	25	0,8 *	20 ГОСТ 1577-53	4-60	420	270*	28	1,45 *				
	21-40		230									0,7 *			
	41-60		220												
Ст.3сп СТУ62 01 26-62	62-160		210	20	0,6	15К ГОСТ 5520-62	4-20	380	230	25	0,65				
ВМСт.5сп ГОСТ 500-58	4-20	500	280	19	0,5		20К ГОСТ 5520-62					4-20	250	23	0,6
	21-40		270									240	0,55		
	41-60		260			230		0,5							

Продолжение табл. 2.10

Марка стали в ГОСТ или ТУ на технические требования к листовому прокату	Толщина листов, мм	σ_v	σ_T	δ_s , %	a_n , Мдж/м ²	Марка стали в ГОСТ или ТУ на технические требования к листовому прокату	Толщина листов, мм	σ_v	σ_T	δ_s , %	a_n , Мдж/м ²
		Мн/м ²						Мн/м ²			
		не менее									
16ГС (ЗН) ГОСТ 5520-62	4-10	500	330	22	0,6	12ХМ ЧМТУ 5759-57	4-60	450	240	22	0,6
	11-16		320				20-60			19	0,5
	17-30	480	300			61-125	18	—			
	32-60	470	290			Х5М ГОСТ 7350-66			4-50	480	18
	61-160	460	280				Х5; 1Х8ВФ	5-20	400	220	1,0
09Г2С (М) ГОСТ 5520-62	4-10	500	350	22	0,6	0Х13 ГОСТ 5582-61	1-4	400	270 **	21	1,6 **
	11-18	480	330				0Х13 ГОСТ 7350-66			4-50	430	300	23	2,4 *
	19-24		320			0Х17Т ГОСТ 5582-61		1-4	500	—	18
	25-30	470	310				0Х17Т ГОСТ 7350-66	4-50	450	370 ***			1,6 ***
	32-48	460	300			Х25Т ГОСТ 5582-61		1-4	540	300****	17
	50-80	450	280				Х25Т ГОСТ 7350-66	4-50	430		12	0,2
	81-160	440	270			Х28; Х28АН ГОСТ 5582-61		1-4	540	17	0,1 ****
	10Г2С1 (МК) ГОСТ 5520-62	4-7	520				380	10	0,5 ****	Х28АН; Х28Н4 ЧМТУ 5790-57	5-25	480	—	18	0,5
8-32		500	350	1Х17Н2 ГОСТ 5582-61	1-4	1100	10				0,5 ****
34-60		480	340		1Х17Н2 ГОСТ 7350-66	4-50				1200		900
61-160		460	320	12МХ ЧМТУ 5759-57		1-4	1100			850	12
10Г2 ГОСТ 1577-53	4-60	450	—	28	—	12МХ ЧМТУ/ЦНИИЧМ 957-63	20-60	240	19	0,5	
12МХ ЧМТУ 5759-57			61-125	18							

6*

Марка стали и ГОСТ или ТУ на технические требования к листовому прокату	Толщина листов, мм	σ_s	σ_T	δ_s , %	a_n , Мдж/м ²	Марка стали и ГОСТ или ТУ на технические требования к листовому прокату	Толщина листов, мм	σ_s	σ_T	δ_s , %	a_n , Мдж/м ²
		Мн/м ²						Мн/м ²			
						не менее					
06Н3 ЧМТУ/ЦНИИЧМ 1063—63	4—20	550	450	25	1,5	X18H10T ГОСТ 5582—61	1—4	540	—	40	2,0 *
1X21H5T ГОСТ 5582—61	1—4	650		18		0,6*****	X18H10T ГОСТ 7350—66		4—50	240		38
1X21H5T ГОСТ 7350—66	4—50	700	400	14	X18H10T ЧМТУ 2780—51		26—75		220	35	
0X21H5T ГОСТ 5582—61	1—4	650	—	20	1,2*****	0X18H12B ГОСТ 5582—61	1—4	—	40	2,1	
0X22H5T ГОСТ 7350—66	4—50	600	350	15		0X18H12B ГОСТ 7350—66	4—50	520	210		
0X21H6M2T ГОСТ 5582—61	1—4	700	—	18	1,0*****	0X17H13M2T ЧМТУ/ЦНИИЧМ 222—59	5—90	220	35		
0X21H6M2T ГОСТ 7350—66	4—50	600	350	15		X17H13M2T ГОСТ 5582—61	1—4	—	—		
X14Г14Н3Т ГОСТ 5582—61	1—4	700	—	35	1,0****	X17H13M2T ГОСТ 7350—66	4—50	540	240	37	
X14Г14Н3Т ГОСТ 7350—66	4—50	600	250								
X15H9Ю ГОСТ 5582—61	1—4	1000	—	20	—	0X17H16M3T ГОСТ 5582—61	1—4	—	35		
X15H9Ю ЧМТУ 5880—57	5—25	1300	1100	8	0,2	0X17H16M3T ГОСТ 7350—66	4—50	520	200	40	
0X18H10T ГОСТ 5582—61	1—4	520	—	40	—	X23H18 ГОСТ 7350—66		—	270	30	
0X18H10T ГОСТ 7350—66	4—50		210	43	—	0X23H28M3Д3Т ГОСТ 5582—61	1—4	550	—	35	
						0X23H28M3Д3Т ГОСТ 7350—66	4—50	220			

Примечания:

1. Приведенные нормы механических свойств распространяются на термически обработанную листовую сталь в состоянии поставки. Исключением составляет листовая сталь марок ВМСт.3кп, ВМСт.3сп и ВМСт.5сп, поставляемая без термообработки (если необходимость термообработки не оговаривается при заказе). Режимы термообработки сталей указаны в соответствующих стандартах и ТУ.

2. Данные по σ_T и a_n , заимствованные из различных литературных источников, являются ориентировочными.

3. Механические свойства двухслойной листовой стали определяются данными для основного слоя из углеродистой или легированной стали.

4. Для толстолистовой стали марок 0X17Т, Х25Т, 1X17Н2, 1X21Н5Т, 0X22Н5Т, 0X21Н6М2Т, Х14Г14Н3Т и 0X17Н16М3Т толщиной свыше 25 мм механические свойства не нормируются, но проверяются.

* По [155].

** По РТМ 54—60 Гипронефтемаша

*** По [32]

**** По [187].

***** По данным НИИхиммаша

Таблица 2.11

Механические свойства сортовой стали

Марка стали и ГОСТ или ТУ на технические требования к сортовому прокату	Диаметр или толщина, мм	σ_b	σ_T	$\delta_5, \%$	$a_{H,}$ Мдж/м ²	Марка стали и ГОСТ или ТУ на технические требования к сортовому прокату	Диаметр или толщина, мм	σ_b	σ_T	$\delta_5, \%$	$a_{H,}$ Мдж/м ²			
		не менее						не менее						
ВМСт.3кп ГОСТ 380-60	≤40	380	240	25	0,8 *	X5M ГОСТ 10500-63	≤200	450	220	20	1,2			
	41-100		220					22						
	101-250		210											
ВМСт.3сп ГОСТ 380-60	≤40	380	240	25	0,8 *	X5BФ ГОСТ 10500-63	≤200	400	220	20	1,0			
	41-100		220							22				
	101-250		210											
ВМСт.5сп ГОСТ 380-60	≤40	500	280	19	0,6 **	0X13 ГОСТ 5949-61	≤200	600	420	20	0,9			
	41-100		220											
	101-250		210											
20 ГОСТ 1050-60	≤80	500	280	19	0,6 **	2X13 ГОСТ 5949-61	≤80	660	450	16	0,8			
			41-100							270				
			101-250							260				
30X ГОСТ 4543-61	≤80	900	700	12	0,7	0X17T ГОСТ 5949-61	≤80	550	350	20	0,08 *****			
			35X ГОСТ 4543-61							950		11	20	0,1 *****
			30XMA ГОСТ 4543-61									12			0,9
18XГ ГОСТ 4543-61	≤80	900	750	10	—	X16H6 ЧМТУ/ЦНИИЧМ 1088-64	≤80	1100	850	10	0,5			
			35XГ2 ГОСТ 4543-61							950		12	12	0,7
			25X2MФА ЧМТУ 5664-56									11			0,9
50XФА ГОСТ 3704-47	≤14	1500	—	—	—	X14Г14H3T ГОСТ 5949-61	≤80	650	250	35	2,5 *****			
			12X1MФ ГОСТ 10500-63							900		14	0,6	
			X5 ГОСТ 5949-61									750		10	0,9
X5 ГОСТ 5949-61	≤80	400	170	24	1,0	X15H9Ю ГОСТ 5949-61	≤80	1200	900	10	0,4			
			X18H10T ГОСТ 5949-61							500		200	40	2,5*
			0X18H10T ГОСТ 5949-61												520	220	35
X5 ГОСТ 5949-61	≤80	400	170	24	1,0	X17H13M2T ГОСТ 5949-61	≤80	500	200	35	—			
			X23H18 ГОСТ 5949-61							500		200	35	
			0X23H28M3Д3T ГОСТ 5949-61											500	200	35
По согласованию с поставщиком														

Примечание.

Приведенные нормы механических свойств распространяются на термически обработанную сталь в состоянии поставки. Исключение составляет сталь ВМСт.3кп, ВМСт.3сп и ВМСт.5сп, поставляемая без термообработки. Режим термообработки указан в соответствующих стандартах и ТУ.

- По [155].
- По РТМ 54-60.
- По [145].
- По [209].
- По [187].
- По ЧМТУ 284-60.

Механические свойства стальных поковок в термически обработанном состоянии, предназначенных для кованой и ковано-сварной аппаратуры высокого давления [163]

Марка стали	ГОСТ или ТУ	Поковки		Режим термообработки (температура нагрева, °С, охлаждающая среда)	Температура испытания, °С	σ_b	σ_T	δ_5	ψ	a_{ch} , МДж/м ²	НВ
		Назначение	Толщина, мм (не более)			Мн/м ²		%			
						не менее					
22К	ТУ ХК1—00 Ижорского завода	Обечайки и фланцы ковано-сварных корпусов	200	Нормализация 880—920°. Отпуск 600—660°	20	440	220	20	48	0,5	123—167
					200	400	200	—	—	—	—
		Днища, крышки	500	Закалка 880—920°; масло. Отпуск 600—660°	20	440	220	20	48	0,5	123—167
					200	400	200	—	—	—	—
35Г2	ГОСТ 4543—61	Корпуса цельнокованные с фланцами	200	Закалка 870°; масло. Отпуск 600—650°	20	600	360	17	42	0,5	174—217
					200	560	320	—	—	—	—
		Крышки	600		20	600	360	17	42	0,5	174—217
					200	560	320	—	—	—	—
0Х2МА	СТУ 53-378—64 Завода «Баррикады», ИЭС им. Патона, Иркутского НИИхиммаша	Обечайки и фланцы ковано-сварных корпусов	200	Нормализация 910°. Отпуск 640—680°	20	600	450	16	45	0,7	197—235
					200	550	400	—	—	—	—
					300	500	350	—	—	—	—
		Днища, крышки	550		20	600	450	16	45	0,7	197—235
					200	550	400	—	—	—	—
					300	500	350	—	—	—	—
22Х3М	ВТУ 572—64 Ижорского завода, Иркутского НИИхиммаша	Обечайки и фланцы ковано-сварных корпусов, корпуса цельнокованные с фланцами	200	Нормализация 890—910°. Отпуск 650—720°	20	600	450	15	32	0,5	197—235
					200	550	400	—	—	—	—
					300	500	350	—	—	—	—
		Днища, крышки	550		20	600	450	15	32	0,5	197—235
					200	550	400	—	—	—	—
					300	500	350	—	—	—	—

Продолжение табл. 2.12

Марка стали	ГОСТ или ТУ	Поковки		Режим термообработки (температура нагрева, °С, охлаждающая среда)	Температура испытания, °С	σ_b	σ_T	δ_5	ψ	a_n , МДж/м ²	НВ	
		Назначение	Толщина, мм (не более)			Мн/мм ²		%				
						не менее						
25ХЗНМ	СТУ 53-167-62 завода «Баррикады»	Обечайки и фланцы ковано-сварных корпусов, корпуса цельнокованные с фланцами	200	Нормализация 880—910°; масло. Отпуск 630—670°	20	650	500	15	32	0,5	212—248	
					300	580	370	—	—	—	—	
		Днища, крышки	700	Закалка 880—910°; масло. Отпуск 630—670°	20	650	500	15	32	0,5	212—248	
					300	580	370	—	—	—	—	
20ХЗМВФ	МПТУ 2362-49	Корпуса цельнокованные с фланцами	200	Закалка 1030—1080°; масло или воздух. Отпуск 660—700°	20	650	500	15	32	0,5	212—248	
					400	580	400	—	—	—	—	
		Крышки	—	Закалка 1030—1080°; масло. Отпуск 660—700°	20	750	560	14	42	0,6	223—262	
					400	650	480	—	—	—	—	
30Х	ГОСТ 4543-61	Шайбы	100	Закалка 860°; масло. Отпуск 550°; вода	20	700	500	14	42	0,8	212—248	
200					650	450	—	—	—	—		
40Х		Гайки	200		20	700	500	14	42	0,6	212—248	
					200	650	450	—	—	—	—	
30ХМА		Шпильки	150		Закалка 850—880°; масло. Отпуск 560°; вода	20	750	550	14	42	0,7	223—262
						300	600	400	—	—	—	—
35ХМ		Шпильки	150		Закалка 850°; масло. Отпуск 560°; вода	20	750	550	14	42	0,8	232—262
						200	700	500	—	—	—	—
25Х1МФ	ГОСТ 10500-63			Закалка 880—900°; масло. Отпуск 650—680°	20	850	650	15	40	0,8	248—293	
					300	700	500	—	—	—	—	

Механические свойства стальных поковок в термически обработанном состоянии

Марка стали (ГОСТ, ТУ)	Термообработка (температура нагрева, °С, охлаждающая среда)	Категория прочности	σ_b	σ_T	δ_5	ψ	$\sigma_{H,1}$ МДж/м ²	НВ
			Мн/м ²		%			
ВМСт.5сп (ГОСТ 380—60)	—	КП25	500	250	18	42	0,35	140—179
20 (ГОСТ 1050—60)		КП22	440	220	20	48	0,45	123—167
10Г2 (ГОСТ 4543—61)			Закалка 920°, воздух					
20Х (ГОСТ 4543—61)	Режим термообработки устанавливается по технологии завода-изготовителя	КП60А	800	600	13	42	0,6	235—277
30Х (ГОСТ 4543—61)		КП40А	630	400	16		0,55	187—229
38ХА; 40Х (ГОСТ 4543—61)		КП60А	800	600	13		0,6	235—277
38ХА; 35ХМ; 40Х; 40ХФА (ГОСТ 4543—61)		КП63А	850	630	12	40		248—293
35ХМ; 40Х; 40ХФА (ГОСТ 4543—61)		—	1350	1200	9	—	0,5	450—470
30Х; 40Х (ГОСТ 4543—61)	Закалка 850°; масло. Отпуск 550°; вода	КП50А	700	500	14	42	0,6	212—248
12Х1МФ ГОСТ (10500—63)	Закалка 960—980°; воздух. Отпуск 740—760°; воздух	КП25	500	250	21	55	1,0	140—179
15ХМ (ГОСТ 4543—61)	Режим термообработки устанавливается по технологии завода-изготовителя	КП28С	450	280	16	38	0,35	156—197
30ХМА (ГОСТ 4543—61)		КП45А	650	450	15	42	0,55	197—235
	Закалка 850°; масло. Отпуск 550°; вода или масло	КП56А	750	560	14		0,6	223—262
	Режим термообработки устанавливается по технологии завода-изготовителя	КП60А	800	600		—	0,65	235—277
18ХГ (ГОСТ 4543—61)	—	КП28	560	280	16	38	0,35	156—197
Х5; Х5М; Х5ВФ (ГОСТ 5632—61)		Отжиг 840—860°, охлаждение до 650°С со скоростью 25°С/ч и далее на воздухе	КП20С	400	210	20	45	0,8	170
	Нормализация 1000°. Отпуск 700° с охлаждением на воздухе	КП40С	600	420	13	35	0,5	190—240
Х3МВ (ГОСТ 10493—63)	Режим термообработки устанавливается по технологии завода-изготовителя	КП45А	650	450	15	42	0,55	197—235

Марка стали (ГОСТ, ТУ)	Термообработка (температура нагрева, °С, охлаждающая среда)	Категория прочности	σ_b	σ_T	δ_5	ψ	σ_{ch} МДж/м ²	НВ	
			Мн/м ²		%				
18Х3МВ (ГОСТ 10500—63)	Закалка 950—970°; масло. Отпуск 660—680°; воздух	КП45А	650	450	18	42	1,2	197—235	
25Х1МФ (ГОСТ 10500—63)	Закалка 850°; масло. Отпуск 640—680°; масло Режим термообработки уста- навливается по технологии заво- да-изготовителя	КП63А	850	650	13	40	0,8	248—293	
20Х3МВФ (ГОСТ 10500—63)		КП71А	900	710		—	0,65	269—311	
25Х2МФА		КП60А	800	600		42	0,6	235—277	
25Х2М1Ф (ГОСТ 10500—63)		КП71А	900	710		—	0,65	269—311	
25Х1М1ФБР (ЧМТУ/ЦНИИЧМ 744—62)		КП63А	850	630		—	0,65	248—293	
0Х13; 1Х13 (ГОСТ 5632—61)		КП40А	630	400		16	42	0,55	187—229
Х16Н6 (ЧМТУ/ЦНИИЧМ 1088—64)		Закалка 975—1000°; вода. Отработка холодом —70°, 2 ч Отпуск 350—425°, 1 ч	—	1100		900	12	50	0,7
0Х21Н5Т; 1Х21Н5Т (ГОСТ 5632—61)	Режим термообработки уста- навливается по технологии за- вода-изготовителя	КП28	560	280	16	38	0,35	156—197	
Х15Н9Ю (ЧМТУ 194—59)	Закалка 975°; воздух, вода. Отработка холодом —70°, 2 ч. Старение 425°, 1 ч	—	1200	900	12	45	0,4	340—415	
Х18Н10Т (ГОСТ 5632—61)	Режим термообработки уста- навливается по технологии за- вода-изготовителя	КП20С	520	200	35	45	0,8	130—170	
Х17Н13М2Т; Х17Н13М3Т (ГОСТ 5632—61)		КП22С		220			0,45	140—200	
0Х17Н16М3Т; Х23Н18 (ГОСТ 5632—61)		КП20	400	200	22	50	0,5	111—156	

Примечания:

1. В таблице приведены нормы механических свойств для поковок диаметром или толщиной до 200 мм. Для поковок, имеющих больший диаметр или толщину сечения, значения относительного удлинения δ_5 , относительно сужения ψ , и ударной вязкости σ_{ch} снижаются.

2. Температура термической обработки дана ориентировочно, окончательно устанавливается заводами-изготовителями для получения необходимых свойств.

3. Для приведенных в таблице марок сталей, режим термообработки которых устанавливается по технологии заводов-изготовителей, категория прочности, назначенная по рекомендациям авторов, является ориентировочной и окончательно устанавливается заводами-изготовителями для получения необходимых свойств.

Таблица 2.14

Механические свойства стальных отливок

Марка стали (ГОСТ, ТУ)	σ_b	σ_T	δ	ψ	$a_{H, \text{МДж/м}^2}$	НВ	Марка стали (ГОСТ, ТУ)	σ_b	σ_T	δ	ψ	$a_{H, \text{МДж/м}^2}$	НВ		
	не менее							не менее							
	Мн/м ²		%					Мн/м ²		%					
20Л (ГОСТ 977-65)	420	220	22	35	0,5	116-144	20Х5МЛ (ГОСТ 2176-67)	600	400	16	30	0,4	191-240		
25Л (ГОСТ 977-65)	450	240	19	30	0,4	124-151									
35Л (ГОСТ 977-65)	500	280	15	25	0,35	137-166									
45Л (ГОСТ 977-65)	550	320	12	20	0,3	153-179	10Х13Л (ГОСТ 2176-67)	550		20	50	0,8			
20ХМЛ (ГОСТ 7832-65)	450	250	18	30		0,3	191-240	20Х13Л (ГОСТ 2176-57)	600	450	16	40	0,6		
15Х1М1ФЛ (МН 4003-62)	500	350	14				10Х18Н9ТЛ (ГОСТ 2176-67)	450	280						
20ХМФЛ (МН 4003-62)		320					10Х18Н9ТЛ (ГОСТ 2176-67)		200	25	32	0,6			
20Х5ТЛ (ГОСТ 2176-67)	600	400	16	0,4	191-240	10Х18Н12М3ТЛ (ГОСТ 2176-67)	500	220	30	30	1,0				

Примечания:

- Нормы механических свойств относятся к отливкам, подвергнутым термической обработке по технологии завода-изготовителя.
- Для сталей марок 20Л, 25Л, 35Л, 45Л и 20ХМЛ нормы механических свойств даны для отливок с толщиной стенки до 100 мм. При большей толщине стенки требуемые механические свойства отливок устанавливаются техническими условиями заказа.

Таблица 2.15

Механические свойства отливок из чугуна и из сплавов со специальными свойствами
(по ГОСТу 1412-54, ГОСТу 2176-57, [159, 218] и РТМ 54-60 Гипронефтемаша)

Марка (ГОСТ, ТУ)	σ_b	σ_H	$a_{H, \text{МДж/м}^2}$	НВ	Марка (ГОСТ, ТУ)	σ_b	σ_H	$a_{H, \text{МДж/м}^2}$	НВ	
	не менее					не менее				
	Мн/м ²					Мн/м ²				
СЧ 12-28 (ГОСТ 1412-54)	120	280	0,01-0,04	—	С15 (ГОСТ 2233-43)	600	170	0,045-0,05	300-400	
СЧ 15-32 (ГОСТ 1412-54)	150	320			С17 (ГОСТ 2233-43)	—	140			400-460
СЧ 18-36 (ГОСТ 1412-54)	180	360			МФ15	600		0,047-0,05		
СЧЦ-1	320	—	—	200-230	75Х28Л (ГОСТ 2176-67)	350	550	—	220-270	
СЧЦ-2				210-260	185Х34Л (ГОСТ 2176-67)	400	600		250-320	

Таблица 2.16

Механические свойства труб

Вид труб	ГОСТ или ТУ	Марка стали (ГОСТ, ТУ)	σ_s	σ_T	$\delta_s, \%$	$\sigma_H, \text{Мдж/м}^2$	НВ					
			Мн/м ²									
не менее												
Электросварные прямошовные гр. А диаметром 426—1620 мм	ГОСТ 10706—63	ВМСт.3кп (ГОСТ 380—60)	380	240	25	0,8 *	—					
		ВМСт.3сп (ГОСТ 380—60)										
Стальные бесшовные крекинговые (холоднотянутые или холоднокатаные после отжига)	ГОСТ 550—58	10 (ГОСТ 1050—60)	340	200	26	0,8	137					
Стальные бесшовные крекинговые (горячекатаные без отжига)			360	220	25							
Электросварные $D_H \leq 20 \text{ мм}$ и $D_H = 21 \div 60 \text{ мм}$ (при $s > 0,06D_H$)	ГОСТ 10705—63		500	—	4	—	—					
Электросварные $D_H = 21 \div 60 \text{ мм}$ (при $s \leq 0,06D_H$)			400		10							
Электросварные $D_H \geq 63 \text{ мм}$			380		20							
Стальные бесшовные горячекатаные	ГОСТ 8731—66	20 (ГОСТ 1050—60)	420	250	21	1,45 *	≤ 156					
Стальные бесшовные холоднотянутые, теплотяннутые, холоднокатаные и теплокатаные	ГОСТ 8733—66											
Высокого давления с толщиной стенки $s \leq 20 \text{ мм}$	ЧМТУ/УкрНИТИ 518—63							400	240	23	0,5	111—156
Высокого давления с толщиной стенки $s > 20 \text{ мм}$												
Стальные бесшовные горячекатаные	МРТУ 14-4-21—67							410	220	24	0,5	
Стальные бесшовные крекинговые (холоднотянутые или холоднокатаные после отжига)	ГОСТ 550—58							420	240	23	0,8	156
Стальные бесшовные крекинговые (горячекатаные без отжига)								440	260	22		

Вид труб	ГОСТ или ТУ	Марка стали (ГОСТ, ТУ)	σ_b	σ_T	δ_5 , %	a_{H_2} , Мдж/м ²	НВ
			не менее				
			МН/м ²				
Бесшовные горячекатаные с диаметром 159—325 мм	ЧМТУ/УкрНИТИ 574—64	09Г2С (М) (ГОСТ 5520—62)	480	330	21	0,3 (при -70°С)	—
Стальные бесшовные горячекатаные	ГОСТ 8731—66	10Г2 (ГОСТ 4543—61)	480	270		22	—	197
Стальные бесшовные холоднотянутые, теплотянутые, холоднокатаные и теплокатаные	ГОСТ 8733—66		430	250			
Стальные бесшовные крекинговые	ГОСТ 550—58		480	270	1,2		
Стальные бесшовные горячекатаные	МРТУ 14-4-21—67	12Х1МФ (ГОСТ 10500—63)	450	260	21	0,6	—
Стальные бесшовные крекинговые (после отжига)	ГОСТ 550—58	12Х1МФ (ГОСТ 550—58)		230			
		Х5 (ГОСТ 5632—61)	400	220	24	1,0	170
		Х5М (ГОСТ 5632—61)			22	1,2	
		Х5ВФ (ГОСТ 5632—61)					
Стальные бесшовные со специальной термообработкой	ЧМТУ/УкрНИТИ 539—64	Х5М—У (ГОСТ 5632—61)	600	420	16	1,0	187—235
Стальные бесшовные термообработанные	МРТУ 2-04-8—62	Х8 (МРТУ 2-04-8—62)	400	—	22	—	—
Стальные бесшовные термообработанные	ЧМТУ/УкрНИТИ 623—64	1Х8ВФ (ГОСТ 5632—61)		220		1,0	170
Высокого давления	ЧМТУ/УкрНИТИ 518—63	14ХГС (ГОСТ 5058—65)	500	340	17	1,0	≥137
		30ХМА (ГОСТ 4543—61)	600	400	13	0,8	169—217
		18Х3МВ (ГОСТ 10500—63)	650	450	18	1,2	197—241
		20Х3МВФ (ГОСТ 10500—63)	800	500	14	0,6	241—285
	ТУ УралНИТИ	1Х12В2МФ (ГОСТ 5632—61)	900 **	750 **	12 **		0,7 **	269—311

Вид труб	ГОСТ или ТУ	Марка стали (ГОСТ, ТУ)	σ_s	σ_T	$\delta_s, \%$	$a_n, \text{МДж/м}^2$	НВ		
			Мн/мм ²						
			не менее						
Бесшовные горячекатаные	ГОСТ 9940—62	0X13 (ГОСТ 5632—61)	380	270 ***	22	1,6 ***			
Бесшовные холоднотянутые, холоднокатаные и теплокатаные	ГОСТ 9941—62		350		25				
Бесшовные горячекатаные	ГОСТ 9940—62	X25T (ГОСТ 5632—61)	450	300 ****	15				
Бесшовные холоднотянутые, холоднокатаные и теплокатаные	ГОСТ 9941—62		470		17				
Бесшовные горячекатаные	ГОСТ 9940—62	X28 (ГОСТ 5632—61)	450		210 *****			40	
			Бесшовные холоднотянутые, холоднокатаные и теплокатаные	ГОСТ 9941—62		520	37		
Электросварные	ГОСТ 11068—64	0X18H10T (ГОСТ 5632—61)				540	40		
			00X18H10T (ГОСТ 11068—64)	500		40			
Бесшовные горячекатаные	ГОСТ 9940—62	X18H10T (ГОСТ 5632—61)	540	240 *****	40				
Бесшовные холоднотянутые, холоднокатаные и теплокатаные	ГОСТ 9941—62		560		35				
Электросварные	ГОСТ 11068—64		—		—				
Бесшовные горячекатаные	ГОСТ 9940—62	0X18H12B (ГОСТ 5632—61)	520	210 *****	38				
Бесшовные холоднотянутые, холоднокатаные и теплокатаные	ГОСТ 9941—62		540		35				

Вид труб	ГОСТ или ТУ	Марка стали (ГОСТ, ТУ)	σ_b	σ_T	$\delta_5, \%$	$a_{kl},$ МДж/м ²	НВ
			Мн/м ²				
не менее							
Бесшовные горячекатаные	ГОСТ 9940—62	X17H13M2T (ГОСТ 5632—61)	540	240 *****	35		
Бесшовные холоднотянутые, холоднокатаные и теплокотаные	ГОСТ 9941—62						
Бесшовные горячекатаные	ГОСТ 9940—62	0X17H16M3T (ГОСТ 5632—61)	500	200 *****	40		
Бесшовные холоднотянутые, холоднокатаные и теплокотаные	ГОСТ 9941—62		540				
Бесшовные горячекатаные	ГОСТ 9940—62	0X23H18	500		37		

* По [155].
 ** По данным Иркутского НИИхиммаша.
 *** По РТМ 54—60 Гипронефтемаша.
 **** По [187].
 ***** Для листовой стали при тех же значениях σ_b и δ_5 .

Таблица 2.17

Механические свойства сплавов типа хастеллой [209]

Марка	Вид материала	Термическая обработка (температура нагрева, охлаждающая среда)	σ_b	σ_T	$\delta_5, \%$	НВ	
			Мн/м ²				
не менее							
Хастеллой В (ЭИ-461)	Прокат	Отжиг	910	420	40	210—235	
	Литье	Без термообработки	520	330	6	190—230	
Хастеллой С (ЭП-375)	Лист прокатанный	Закалка 1220° С; воздух	570	360	10	—	
	Пруток		850		50	204	
	Литье		560	350	5	199	
Хастеллой F	Лист горячекатаный	Закалка 1165° С; воздух	720	310	46	168	
	Пруток		710	290	45	—	
	Литье		510	260	20	159	

Таблица 2.18

Механические свойства сталей при низких и высоких температурах
 ([15, 32, 93, 101, 155] и РТМ 54—60 Гипронефтемаша)

Марка стали и состояние материала	Темпе- ратура, °С	σ_B	σ_T	δ_5 , %	a_{H_2} , Мдж/м ²	Марка стали и состояние материала	Темпе- ратура, °С	σ_B	σ_T	δ_5 , %	a_{H_2} , Мдж/м ²	
		МН/м ²						МН/м ²				
ВМСт.Зкп (состояние поставки)	-20	—	—	—	0,13	16ГС (ЗН) (состояние поставки)	-40	—	—	—	0,3	
	20	380	220	—	0,80		20	508	304	28,1	0,6	
	250	—	170	—	—		100	460	277	30,5	—	
	300	—	155	—	—		200	449	245	25,0	—	
	350	—	139	—	—		300	459	212	22,8	—	
	400	—	120	—	—		400	451	213	29,1	—	
425	—	112	—	—	500	324	172	37,6	—			
ВМСт.Зсп (состояние поставки)	-40	—	—	—	0,45	09Г2С (М) (состояние поставки)	-70	—	—	—	0,30	
	20	380	220	—	0,80		-40	—	—	—	0,35	
	250	—	170	—	—		20	484	328	30,0	0,60	
	300	—	155	—	—		100	433	385	28,0	—	
	350	—	139	—	—		200	431	253	27,0	—	
	400	—	120	—	—		300	457	214	27,0	—	
425	—	112	—	—	400	438	198	30,0	—			
20 (нормализация 880—900° С)	-100	617	480	24,8	0,38	10Г2С1 (МК) (состояние поставки)	-70	—	—	—	0,25	
	-70	582	450	27,0	0,46		-40	—	—	—	0,30	
	-40	535	415	28,3	0,58		20	529	390	25,5	0,60	
	-20	510	390	28,8	0,68		100	483	367	24,5	—	
	20	480	350	30,0	0,74		200	488	341	19,0	—	
	200	500	280	21,0	1,30		300	521	264	18,5	—	
25 (нормализация 900° С)	300	530	210	26,0	1,20	350	521	235	23,5	—		
	400	420	200	25,0	0,90	10Г2 (состояние поставки)	-100	815	720	27,1	—	
	500	255	170	28,0	0,70		-70	543	335	31,3	1,2	
	30, 35 (состояние поставки)	-100	650	475	24,0		0,50	-50	522	313	32,2	1,56
		-70	630	425	25,0		0,67	20	470	284	31,0	2,86
		-40	590	375	28,4		0,90	30Х (закалка 860°; масло. Отпуск 500° С НВ 260—269)	-70	—	—	—
-20		560	345	29,0	1,17		-40		—	—	—	0,35
20		500	300	30,0	1,40	-20	—		—	—	0,35	
200		570	—	12,5	0,99	20	850		670	17,0	1,00	
300	550	200	22,0	0,99	100	780	580		15,5	1,40		
400	475	168	24,8	0,71	200	790	560		16,5	1,40		
500	335	154	28,2	0,49	300	810	580	25,0	1,30			
30, 35 (состояние поставки)	-100	660	439	25,0	0,40	40Х (закалка 820— 840° С; масло. Отпуск 550° С, 3 ч. НВ 285—302)	20	940	805	13,0	0,85	
	-70	638	408	26,8	0,58		200	890	720	13,0	1,20	
	-40	602	382	28,0	0,82		300	890	690	17,0	—	
	-20	600	368	30,0	1,00		400	700	620	18,0	1,00	
	20	545	350	32,0	1,25		500	500	440	21,0	0,80	
	200	590	313	—	0,84		38ХА (закалка 860° С; масло. Отпуск 550° С; вода)	-100	1170	1000	18,6	0,50
300	592	207	21,3	0,72	-70	1146		972	18,9	0,61		
400	512	187	23,1	0,60	-40	1090		945	19,1	0,76		
500	365	154	24,0	0,44	-20	1060		930	19,1	0,90		
40 (нормализация 840—860° С. Отпуск 650° С)	-70	—	—	—	0,62	20		1050	870	19,1	0,90	
	-40	—	—	—	0,78	200		1010	840	—	0,90	
	20	650	415	22,0	1,21	300	990	790	18,0	0,90		
	200	605	360	14,0	0,85	400	810	720	17,0	0,60		
	300	600	—	—	—	500	580	530	20,0	0,40		
	400	520	305	23,0	0,70	30ХМА (закалка 870— 880° С; масло. Отпуск 650° С)	20	745	600	19,5	1,90	
45 (закалка 840° С, вода. Отпуск 550° С)	-100	1065	970	10,0	0,45		200	675	565	20,5	—	
	-70	1050	930	10,2	0,58		300	730	535	21,0	—	
	-40	1040	920	10,3	0,70		400	645	490	22,0	2,03	
	-20	1020	892	10,4	0,82		500	510	435	21,6	1,45	
	20	1000	866	10,5	0,96							

Марка стали и состояние материала	Темпе- ратура, °С	σ_{σ}	σ_{τ}	$\delta_{\%}$	a_{H^*} Мдж/м ²	Марка стали и состояние материала	Темпе- ратура, °С	σ_{σ}	σ_{τ}	$\delta_{\%}$	a_{H^*} Мдж/м ²
		Мн/м ²						Мн/м ²			
30ХМА (Закалка 870° С, вода. Отпуск 600° С)	20	950	750	12,0	0,90	Х5ВФ	-40	—	—	—	>0,2
	200	800	650	20,0	2,00		20	537	382	21,1	1,2
	300	800	650	20,0	1,80		100	469	376	18,2	—
	400	740	600	19,0	1,60		200	449	339	19,2	—
	500	570	500	19,0	1,30		300	443	327	17,3	—
							400	406	314	16,5	—
25Х2МФА (нормализация 1000° С. Отпуск 650° С, 2 ч)	20	950	850	13,0	1,00	500	300	242	20,5	—	
	500	787	702	13,8	1,14	600	193	134	26,5	—	
	525	713	674	12,3	1,20						
12Х1МФ (Нормализация 960—1030° С. Отпуск 680—760° С)	20	520	330	25,0	1,50	Х8ВФ	-40	—	—	—	>0,2
	500	440	320	18,0	—		20	510	233	25,6	1,0
	550	360	290	20,0	—		200	425	185	23,1	—
	600	190	190	23,0	2,0		300	400	172	18,8	—
					400		372	171	17,8	—	
					500		318	158	23,8	—	
12МХ (Нормализация 920° С. Отпуск 680—690° С)	20	455	284	31,5	1,93	0Х13 (Закалка 1000— 1020° С, вода. Отпуск 680— 700° С 12 ч. НВ 148—156)	-20	—	—	—	0,06—1,2
	100	431	268	24,3	2,01		20	470	280	25,0	2,4
	200	458	254	20,3	1,88		100	445	280	28,0	3,6
	300	483	292	20,3	1,60		200	410	250	27,0	3,4
	400	458	257	22,9	1,82		300	390	240	22,0	3,4
	500	405	240	22,1	0,96		400	350	220	23,0	3,5
	550	365	225	21,6	0,79		500	220	190	26,0	3,0
600	312	225	25,8	1,45	600	170	150	34,0	2,5		
50ХФА (закалка 850° С; масло. Отпуск 640° С)	-196	—	—	—	0,20	1Х13 (закалка 990— 1050° С; масло. Отпуск 740— 750° С воздух)	-40	—	—	—	1,0
	-100	—	—	—	0,54		20	580	420	20,0	1,1
	-40	—	—	—	0,67		100	580	420	20,0	2,4
	20	1300	1100	10,0	0,73		200	530	370	16,0	2,5
	100	980	900	20,0	—		300	530	370	22,5	2,7
	200	930	834	16,0	—		400	490	360	16,0	2,0
300	875	770	20,0	—	500		370	280	18,0	2,4	
500	511	426	26,0	—	600	230	180	18,0	2,2		
40ХФА	20	905	850	10,0	0,9	2Х13 (нормализация 1000—1020° С. Отпуск 730—750° С. НВ 187—217)	-100	—	—	—	0,40
	100	940	860	—	—		-80	—	—	—	0,42
	200	900	800	—	—		-40	—	—	—	0,49
	300	860	750	—	—		20	720	520	21,0	0,80
	400	870	700	—	—		300	550	400	18,0	2,00
500	500	400	—	—	400		530	400	16,5	2,05	
Х5 (состояние поставки)	-40	—	—	—	>0,2	500	440	365	32,5	2,50	
	20	438	204	30,6	—	550	350	285	36,5	2,23	
	100	385	172	25,4	—						
	200	354	171	23,8	—						
	300	335	160	23,3	—						
Х5М (состояние поставки)	400	330	164	21,5	—	1Х17Н2 (состояние поставки)	-70	1210	1020	—	0,47
	450	323	166	24,5	—		-40	1200	990	—	0,50
	20	400	220	22,0	1,2		-20	1200	970	—	0,52
	400	362	—	—	—		20	1200	900	8,0	0,57
	450	349	—	—	—		300	1120	840	8,0	—
500	338	—	—	—	450		920	730	6,5	0,80	
550	294	—	—	—	500	950	870	16,0	1,20		
Х5М-У (термообработка по режиму ТУ КО68—61)	-40	—	—	—	>0,2	Х17	700	100	—	—	2,1
	20	655	518	16,3	1,0		800	48	—	—	1,8
	200	583	488	12,6	—		900	25	—	—	1,7
	300	561	480	11,4	—		1000	24	—	—	1,5
	400	554	452	11,1	—						
Х5М-У (термообработка по режиму ТУ КО68—61)	500	470	383	15,4	—	0Х17Т	700	200	—	—	2,1
	550	406	270	17,6	—		800	100	—	—	1,8
	600	332	169	19,8	—		900	50	—	—	1,7
							1000	50	—	—	1,5

Марка стали и состояние материала	Температура, °С	σ_b	σ_T	δ_5 , %	a_{K1} , Мдж/м ²	Марка стали и состояние материала	Температура, °С	σ_b	σ_T	δ_5 , %	a_{K1} , Мдж/м ²	
		МН/м ²						МН/м ²				
Х28 (состояние поставки)	20	540	300	17,0	0,10	Х14Г14Н3Т (Закалка 1050° С; вода или воздух)	-253	1560	550	40,0	0,95	
	200	500	—	—	0,25		-196	1330	430	49,3	1,94	
	300	470	—	—	2,20		20	750	350	60,0	2,00	
	400	500	—	—	1,95		100	500	200	60,0	2,00	
	500	400	—	—	1,80		200	400	150	45,0	2,00	
	600	170	—	—	1,50		300	400	150	45,0	2,00	
	700	90	—	—	1,80		400	400	150	40,0	2,00	
800	40	—	—	2,10	500	400	150	40,0	2,00			
						600	330	120	35,0	—		
Х28АН (состояние поставки)	20	540	300	17,0	0,10	Х18Н10Т (Закалка 1050° С; вода)	-253	1850	650	32,0	0,70	
	200	—	—	24,0	—		-196	1200	320	42,0	2,50	
	300	—	—	24,0	—		-70	1190	398	38,0	3,00	
	400	—	—	25,0	—		-40	1010	300	39,0	3,20	
	500	400	—	29,0	—		20	660	250	40,0	3,35	
800	190	—	—	2,80	300	460	200	31,0	2,60			
						400	450	180	31,0	2,90		
						500	450	180	29,0	2,00		
						600	400	180	25,0	2,00		
						700	280	160	26,0	2,60		
						800	180	100	35,0	—		
Х16Н6 (состояние поставки)	-196	1800	1550	24,0	0,8	10Х18Н9ТЛ (нагрев 1100° С, 4 ч; воздух. Отпуск 800° С, 10 ч, охлаждение с печью)	20	510	200	24,0	0,80	
	20	1100	850	10,0	—		350	340	200	11,0	0,60	
	450	950	700	—	—		400	360	200	12,0	0,70	
	500	750	550	—	—		450	360	170	23,0	0,80	
	550	550	500	—	—		500	350	190	17,0	0,70	
600	430	350	—	—	550	310	170	23,0	1,00			
						600	280	160	24,0	0,90		
1Х21Н5Т (состояние поставки)	-100	1000	700	15,0	0,6	0Х18Н12Б (состояние поставки)	-196	1370	340	31,0	—	
	-50	900	600	10,0	0,6		-70	980	316	39,8	—	
	20	650	450	18,0	0,6		-40	860	300	41,8	—	
	100	650	450	20,0	—		20	570	245	53,0	2,1	
	200	600	400	10,0	—		500	400	150	28,0	2,4	
	300	600	350	10,0	—		600	370	140	28,0	2,5	
	400	500	350	10,0	—		650	310	120	31,0	2,4	
500	450	300	15,0	—	700	250	120	31,0	2,5			
600	300	250	20,0	—								
0Х21Н5Т (состояние поставки)	-100	1220	730	16,0	—	Х23Н18 (состояние поставки)	-196	1050	490	54,0	1,08	
	-60	1230	700	18,0	—		-100	765	320	54,0	1,20	
	20	600	300	35,0	1,2		-70	700	275	54,0	—	
	100	600	300	35,0	—		-40	650	266	56,6	—	
	200	550	300	30,0	—		20	560	240	60,0	1,60	
	300	500	250	30,0	—							
	400	500	250	30,0	—							
500	420	240	30,0	—								
600	300	180	35,0	—								
0Х21Н6М2Т (состояние поставки)	-100	1210	640	33,0	—	Х23Н18 (закалка 1180° С; вода. Старение 800° С, 4 ч)	300	530	240	25,0	1,50	
	-60	1160	530	32,0	—		400	530	230	24,0	1,50	
	20	600	350	32,0	1,0		500	530	215	25,0	1,75	
	100	600	350	35,0	—		600	450	200	23,5	1,80	
	200	550	300	35,0	—		650	370	190	22,5	1,90	
	300	550	250	35,0	—		700	320	190	19,0	1,75	
	400	500	300	30,0	—		800	190	165	19,0	1,80	
500	500	280	28,0	—								
600	380	210	30,0	—								

Таблица 2.19

Характеристика ползучести и длительной прочности сталей
([7, 15, 68, 88, 155, 209] и по ГОСТу 10500—63)

Марка стали и состояние материала	Температура, °С	$\sigma_{пл}$		$\sigma_{дл}$		Марка стали и состояние материала	Температура, °С	$\sigma_{пл}$		$\sigma_{дл}$	
		Мн/м ²						Мн/м ²			
		При деформации в 1% за 100 000 ч	При скорости ползучести 10 ⁻⁷ мм/(мм·ч)	За 10 000 ч	За 100 000 ч			При деформации в 1% за 100 000 ч	При скорости ползучести 10 ⁻⁷ мм/(мм·ч)	За 10 000 ч	За 100 000 ч
20 (состояние поставки)	400	100	93	—	—	18Х3МВ (нормализация 890—910° С, масло. Отпуск 660—680° С, воздух)	450	160	—	—	
	425	75	75	—	—		500	—	—	—	
	450	50	56	80	80		550	—	—	—	
	475	36	40	60	60						
	500	25	30	40	40						
25 (состояние поставки)	400	105	105	—	—	20Х3МВФ (закалка 1030— 1080° С, масло. Отпуск 660—700° С, воздух)	500	150	340	300	
	425	80	80	200	160		550	100	200	160	
	450	53	59	140	100		580	50	140	100	
	475	36	42	—	—						
	500	25	30	—	—						
30 (состояние поставки)	400	110	112	—	—	30ХМА (закалка 870— 880° С, масло. Отпуск 650° С)	450	110	300	230	
	425	83	84	190	135		500	70	190	135	
	450	55	60	97	77		550	35	110	77	
	475	36	42	—	—						
	500	22	30	—	—						
40 (состояние поставки)	400	103	—	190	—	1Х13 (закалка 990— 1050° С, масло. Отпуск 740—750° С, воздух)	400	123	—	—	
	450	50	—	97	270		425	—	—	270	
	500	30	—	44	200		450	105	—	220	
					120		500	57	—	120	
					70						
12МХ (нормализация 920° С, воздух. Отпуск 680—690° С, воздух)	450	200	—	250	270	2Х13 (закалка 980— 1040° С, масло или воздух. Отпуск 150—370° С)	450	128	—	260	
	480	150	—	200	180		475	76	—	180	
	510	70	—	160	160		500	48	—	160	
	540	35	—	110	76		530	—	—	76	
					70		550	30	—	—	
12Х1МФ (нормализация 960—980° С. Отпуск 740—760° С, воздух)	480	190	—	200	200	Х5М (отжиг 850—860° С. Охлаждение в печи)	450	97	140	114	
	520	130	—	140	71		500	73	92	71	
	560	84	—	120	45		550	43	50	45	
	580	62	—	90	26		600	22	37	26	
							650	11	—	—	
25Х1МФ (нормализация 880—900° С, масло. Отпуск 640—660° С, вода)	500	80	—	260	—	Х5М-У (нормализация 1000° С. Отпуск 700° С, воздух)	500	—	228	190	
	550	30	—	100	—		550	—	120	88	
							600	—	70	53	
25Х2МФА (закалка 870— 880° С, масло. Отпуск 650° С)	450	—	233	—	—	Х5ВФ (отжиг 850—870° С. Охлаждение в печи до 700° С)	500	60	120	92	
	500	—	80	290	210		550	38	89	70	
	550	—	31	100	60		600	28	65	52	
	550	—	—	50	32		650	—	31	23	
	600	—	—	—	—						
25Х8ВФ (отжиг 850—860° С. Охлаждение в печи)	500	—	61	81	61	Х8ВФ (отжиг 850—860° С. Охлаждение в печи)	500	—	61	61	
	550	—	46	—	—		550	—	46	—	
	600	—	27	50	38		600	—	27	38	
	600	—	—	31	23		650	—	—	—	
	650	—	—	—	—						

Продолжение табл. 2.19

Марка стали и состояние материала	Температура, °С	$\sigma_{\text{ЛД}}$				$\sigma_{\text{ДА}}$				
		Мн/м ²								
		При деформации в 1% за 100 000 ч	При скорости ползучести 10 ⁻⁷ мм/(мм·ч)	За 10 000 ч	За 100 000 ч	При деформации в 1% за 100 000 ч	При скорости ползучести 10 ⁻⁷ мм/(мм·ч)	За 10 000 ч	За 100 000 ч	
X23H18 (закалка 1180° С; вода)	650 700 800	—	54 35 12	115 60 21	80 35 12	10X18H9TЛ (нагрев до 1100° С, 4 ч; воздух. Отпуск 800° С, 10 ч, охлаждение с печью)	550 600	— 120	200 160	160 130
X18H10T (нагрев до 1050— 1100° С; воздух или вода. Отпуск 800° С, 10 ч)	450 500 540 550 560 580 600 650	— — — — — — 75 30	155 110 81 75 69 57 48 30	— — — — — — 150 80	— — — — — — 110 —	X17H13M2T (состояние поставки)	600 650 700 900 1000	70 50 — — —	— — 40 8,5 3,9	— — 28 4,8 2,0

Таблица 2.20

Характеристика релаксационной стойкости сталей [15, 106]

Марка стали	Температура испытаний на релаксацию напряжений, °С	Начальное напряжение, Мн/м ²	Остающееся напряжение, Мн/м ² , по истечении времени, ч									
			100	500	1000	2000	3000	4000	5000	10 000		
30X	400	200	87	62	53	—	31	—	—	—		
38XA	450	250	224	215	212	205	200	196	195	182		
12X1MФ	450	250	—	—	—	—	—	—	—	—	(151)	
		300									169	(184)
	500	200									125	(106)
		300									180	(140)
20X3MBФ	450	250	—	—	—	—	—	—	—	—	178	
		300									178	160
	500	200									217	195
		350									125	110
											184	

Марка стали	Температура испытаний на релаксацию напряжений, °С	Начальное напряжение, Мн/м ²	Остающееся напряжение, Мн/м ² , по истечении времени, ч							
			100	500	1000	2000	3000	4000	5000	10 000
25Х2МФА	500	250			175					130
		350			235					190
25Х2М1Ф	525	300			170					100
		350			190					120
	550	250			110					43
		400			178					65
25Х1М1ФБР	525	250			170					157
		350			235					182
	540	250			160					150
		350			216					197
	565	250			135					130
		350			185					177
1Х13	400	200	166	155	148	144	141	139	138	121
		250	202	167	163	159	158	154	153	138
		300	231	193	186	186	183	179	178	160
	450	200	133	114	109	102	98	92	88	72
		250	151	132	124	117	112	109	107	95
		300	173	152	145	135	128	123	118	101
2Х13	400	250			175					163
		300			207					170
		350			230					195
	450	250			109					80
		300			130					96
		350			149					113

Примечание. Значения в скобках получены экстраполяцией.

Таблица 2.21

Физические свойства сталей, специальных сплавов и чугунов
(166, 155, 200, 209] и РТМ 54—60 Гипронефтемаша)

Марка	Плотность ρ , кг/м ³	Коэффициент линейного расширения при 20—100° С $\alpha \cdot 10^6$, °С ⁻¹	Коэффициент теплопроводности при 20—100° С λ , Вт/(м·°С)	Модуль нормальной упругости при 20° С E, ГН/м ²	Марка	Плотность ρ , кг/м ³	Коэффициент линейного расширения при 20—100° С $\alpha \cdot 10^6$, °С ⁻¹	Коэффициент теплопроводности при 20—100° С λ , Вт/(м·°С)	Модуль нормальной упругости при 20° С E, ГН/м ²	
ВМСт.3кп	7850	11,90	50,0	210,0	3Х13	7670	10,20	25,1	215,8	
ВМСт.3сп					Х17	7750	10,40			
ВМСт.5сп					0Х17Т	7700	10,00			
МСт.5					Х25Т; 15Х25ТЛ	7600				16,8
20; 20Л	7860	12,25	51,9	198,2	Х28	7630	8,64	17,8		
25; 25Л	7850	12,20	50,6		Х28АН	7600			8,60	25,1	200,0
30; 35; 35Л		12,10	47,9	202,0	Х28Н4	7300	9,40	18,0	170,0	
40		11,95	51,9	209,3	75Х28Л; 185Х34Л	7750	10,30			20,9	196,2
45; 45Л		11,85	48,2	214,0	1Х17Н2	7800	11,30	—	—	
15К; 20К; 22К		11,30	50,6	211,0	Х16Н6	7900	—			17,2	187,1
16ГС (3Н)	7860	12,00	50,0	210,0	06Н3	7600	10,20	199,1		
09Г2С (М)					1Х21Н5Т	7600	9,60			
10Г2С1 (МК)					0Х21Н5Т					
10Г2					0Х22Н5Т	7700	9,50	12,6	193,0	
20Х	7820	11,30	49,4	207,0	0Х21Н6М2Т	7800	16,00	14,7	198,0	
30Х			46,5	218,0	Х14Г14Н3Т	7660	10,30	13,4	195,0	
38ХА; 40Х	7850	11,00	46,0	200,0	Х15Н9Ю	7900	16,60	24,7	195,2	
12МХ		11,50	43,8	206,5	0Х18Н10Т	7930	16,80	15,8	196,2	
12Х1МФ	7840	10,80	35,6	213,0	0Х18Н12Б	7900	16,60	16,4	195,2	
15ХМ	7850	11,00	—	210,0	Х18Н10Т	7910	14,80	15,9	166,8	
15Х1М1ФЛ	7840	11,20	41,5	214,0	10Х18Н9ТЛ	7900	16,50		200,6	
40ХФА	7820	11,00	52,4	212,0	Х17Н13М2Т	7910	15,40	13,8	200,0	
25Х1МФ	7840	10,80	41,8		Х23Н18; 0Х23Н18	6900	4,70	53,4		
25Х2МФА		11,30	39,8	213,0	С15					
20Х3МВФ	7800	12,30	35,6	207,0	С17	7000	41,8	—		
Х5; 20Х5ТЛ	7760	11,00	36,6	204,0	МФ15					
Х5М; 20Х5МЛ	7750	10,70		206,0	СЧ00	7300			10,50	
0Х13	7760	10,50	25,1	216,8	СЧ 12—28					
1Х13; 10Х13Л	7720	10,15	22,1	217,8	СЧ 15—32					
2Х13; 20Х13Л	7670	10,20		СЧ 18—36						

Примечание. Для всех марок коэффициент Пуассона $\mu = 0,33$.

2.3. РЕКОМЕНДУЕМЫЙ СОРТАМЕНТ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

В табл. 2.22—2.42 приводятся данные по рекомендуемому сортаменту тонко- и толстолистовой стали, двухслойной листовой стали (биметаллу), круглой стали, сортовой профильной стали (угловой и швеллеров) и труб, преимущественно применяемому в химическом аппаратостроении.

Таблица 2.22

Рекомендуемый сортамент листовой стали

Сортамент (ГОСТ)	Толщина листов, мм	Допускаемое отклонение по толщине*, мм	Масса ** 1 м ² , кг	ВМСт. 3сп;	ВМСт. 3сп;	ВМСт. 5сп	20; 15К; 20К; 10Г2	16ГС (8Н);	09Г2С (М);	10Г2С1 (МК)	12МХ; 12ХМ	Х5; Х5М; Х5ВФ	0Х13; 0Х17Т; Х26Т;	1Х17Н2	Х28	Х28АН	Х28Н4	Х16Н6	06Н3	0Х21Н5Т	0Х22Н5Т	1Х21Н5Т;	0Х21Н6М2Т;	Х14Г14Н8Т	Х15Н9В	0Х16Н10Т;	0Х16Н12В	Х16Н10Т	0Х16Н12М2Т	Х17Н13М2Т;	0Х17Н16М3Т	0Х23Н26М3Д3Т	Х17Н13М3Т;	Х23Н18				
				Сталь прокатная тонколистовая (ГОСТ 3680—57)	1	-0,12	7,85																															
	2	-0,18	15,70																																			
	3	-0,22	23,55																																			
Сталь прокатная толстолистовая (ГОСТ 5681—57)	4	-0,4	31,40																																			
	5	-0,5	39,20																																			
	6	-0,6	47,51																																			
	8	-0,8	62,80																																			
	10		78,40																																			
	12		94,20																																			
	14		110,0																																			
	16		125,6																																			
	18	141,6																																				
	20	156,8																																				
	22	173,0																																				
	24	188,4																																				
	26	-0,9	204,0																																			
	28		220,0																																			
30	235,5																																					
32	-1,0	251,2																																				
34		266,8																																				
36	-1,1	283,2																																				
38		298,4																																				
40		313,6																																				

Сортамент (ГОСТ)	Толщина листов, мм	Допускаемое отклонение по толщине*, мм	Масса** 1 м ² , кг	Марки сталей																					
				ВМСт. 3кп; ВМСт. 3сп; ВМСт. Бсп	20; 15К; 20К; 10Г2	16ГС (3Н); 09Г2С (М); 10Г2С1 (М.К)	12МХ; 12ХМ	Х5; Х5М; 1Х8ВФ	0Х13; 0Х17Т; Х25Т; 1Х17Н2	Х28	Х28АН	Х28Н4	Х16Н6	06Н8	0Х21Н5Т	0Х22Н5Т	1Х21Н5Т; 0Х21Н6М2Т; Х14Г14Н3Т	Х15Н9К	0Х18Н10Т; 0Х18Н12Б	Х18Н10Т	0Х18Н12М2Т	Х17Н13М2Т; 0Х17Н16М3Т	0Х28Н28М3Д3Т	Х17Н13М3Т; Х23Н18	
Сталь прокатная толстолистовая (ГОСТ 5681—57)	42	-1,2	329,8	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
	44		346,0	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	46		360,8	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	48		376,8	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	50		392,0	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	55	-1,3	431,0	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	60		471,0	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	65	-1,8	510,2	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	70		549,1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	75	-2,2	588,6	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	80		628,0	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	85	-2,5	667,2	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	90		705,6	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	95	-2,7	744,8	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	100	-3,1	784,0	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	110		862,0	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	120	-3,5	942,0	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	130	-3,8	1020,1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	140		1098,2	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	150	-4,2	1177,1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
160	1256,0		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		

Примечания:

1. Рекомендуемые толщины листовой стали обозначены штриховкой.
2. Размеры листов выбираются в зависимости от рационального раскроя по ГОСТам 3680—57 и 5681—57.
3. Тонколистовая сталь всех марок применяется обычной точности прокатки (допускаемые отклонения по толщине по классу В ГОСТа 3680—57). Качество поверхности тонколистовой стали — по группе II — а ГОСТа 5582—61.
4. Качество поверхности толстолистовой стали должно отвечать требованиям соответствующих стандартов (ГОСТы 500—58, 1577—53, 5520—62 и 7350—66). Толстолистовая высоколегированная сталь всех марок применяется по группе А ГОСТа 7350—66.

* Допускаемые отклонения указаны только в минусовую сторону.
 ** Для стали с плотностью $\rho = 7,85 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Таблица 2.23

Рекомендуемый сортамент двухслойной листовой стали (по ГОСТу 10885—64)

Толщина листов (суммарная), мм	Толщина плакирующего слоя, мм	Максимальные размеры листов, мм		Максимальная масса одного листа, кг
		Длина	Ширина	
8; 10; 12; 14	2,0—3,0	8000	1800	1200
16; 18; 20	2,5—3,5			
22; 24; 25	3,0—4,0			
28; 30	3,5—5,0			
32; 36; 40	4,0—6,0		2500	2000
45; 48; 50	4,5—7,0			
53; 55; 60	5,0—7,5			
65; 70; 75; 80; 85	6,0—12,0			
90; 95; 100; 105; 110	6,0—15,0	3500		
120; 125; 130; 140; 150; 160	6,0—20,0			

Таблица 2.24

Сортамент стальной хромованадиевой проволоки марки 50ХФА для пружин (по ГОСТу 3704—47)

Диаметр проволоки, мм	Допускаемые отклонения, мм	Масса 1 м, кг	Диаметр проволоки, мм	Допускаемые отклонения, мм	Масса 1 м, кг	Диаметр проволоки, мм	Допускаемые отклонения, мм	Масса 1 м, кг
0,8	+0,03 -0,01	0,0039	3,2	+0,05 -0,03	0,0630	7,0	+0,06 -0,04	0,3010
1,0		0,0062	3,5		0,0755	7,5		0,3470
1,2		0,0088	3,8		0,0890	8,0		0,3940
1,4		0,0121	4,0		0,0985	8,5		0,4450
1,6		0,0158	4,2		0,1088	9,0		0,5000
1,8		0,0200	4,5		0,1250	9,5		0,5550
2,0		0,0247	4,8		0,1420	10,0		0,6150
2,2	+0,04 -0,02	0,0298	5,0	+0,06 -0,04	0,1540	11,0	0,7450	
2,5		0,0386	5,5		0,1865	12,0	0,8890	
2,8		0,0485	6,0		0,2220	13,0	1,0400	
3,0		0,0555	6,5		0,2600	14,0	1,2100	

Таблица 2.25

Рекомендуемый сортамент горячекатаной круглой стали (по ГОСТу 2590—57)

Диаметр, мм	Допускаемое отклонение по диаметру, мм	Масса * 1 м, кг	ВМСт. 3кп;		ВМСт. 3сп;		ВМСт. 5сп		20	25; 30; 35; 40	45	80Х; 85Х	30ХМА	18ХГ; 35ХГ2	40ХФА	12Х1МФ; 25Х2МФА	Х5; Х5М; Х5ВФ	0Х13; 1Х13; 2Х13; 3Х13	Х17; Х25Т; Х28	1Х17Н2; Х16Н6	1Х21Н5Т; 0Х21Н5Т	0Х21Н6М2Т	Х14Г14Н3Т	Х15Н9Ю	Х18Н10Т	Х17Н13М2Т	0Х17Н16М3Т	Х28Н16	0Х23Н28М3ДТ	
			ВМСт. 3кп;	ВМСт. 3сп;	ВМСт. 5сп	ВМСт. 3кп;	ВМСт. 3сп;	ВМСт. 5сп																						
10	-0,5	0,617	[Hatched area]																											
12		0,888	[Hatched area]																											
14		1,21	[Hatched area]																											
16		1,58	[Hatched area]																											
18		2,00	[Hatched area]																											
20		2,47	[Hatched area]																											
22		2,98	[Hatched area]																											
24		3,55	[Hatched area]																											
26	-0,7	4,17	[Hatched area]																											
28		4,83	[Hatched area]																											
30		5,55	[Hatched area]																											
32		6,31	[Hatched area]																											
34		7,13	[Hatched area]																											
36		7,99	[Hatched area]																											
38		8,90	[Hatched area]																											
40		9,87	[Hatched area]																											
42		10,87	[Hatched area]																											
44		11,92	[Hatched area]																											
46	13,20	[Hatched area]																												
48	14,21	[Hatched area]																												
50	-1,0	15,42	[Hatched area]																											
52		16,68	[Hatched area]																											
55		18,65	[Hatched area]																											
58	-1,1	20,70	[Hatched area]																											
60		22,19	[Hatched area]																											

Диаметр, мм	Допускаемое отклонение по диаметру*, мм	Масса** 1 м, кг	ВМСт. 3кл; ВМСт. 3сп; ВМСт. 5сп	20	25; 30; 35; 40	45	30Х; 35Х	30ХМА	18ХГ; 35ХГ2	40ХФА	12Х1МФ; 25Х2МФА	Х5; Х5М; Х5ВФ	0Х13; 1Х13; 2Х13; 3Х13	Х17; Х25Г; Х28	1Х17Н2; Х16Н6	1Х21Н5Г; 0Х21Н5Г	0Х21Н6М2Г	Х14Г14Н8Г	Х15Н9Ю	Х16Н10Т	Х17Н13М2Г	0Х17Н16М3Г	Х23Н18	0Х23Н28М3Д8Г	
65	-1,1	26,05																							
70		30,21																							
75	-1,3	34,60																							
80		39,46																							
85		44,50																							
90		49,94																							
95	-1,7	55,50																							
100		61,65																							
110		74,60																							
120	-2,0	88,78																							
130		104,20																							
140		120,84																							
150		138,72																							
160	-2,5	157,83																							
170		178,00																							
180		199,76																							
190		222,00																							
200		246,62																							
210	-3,0	272,00																							
220		298,40																							
230		325,00																							
240		355,00																							
250		385,34																							

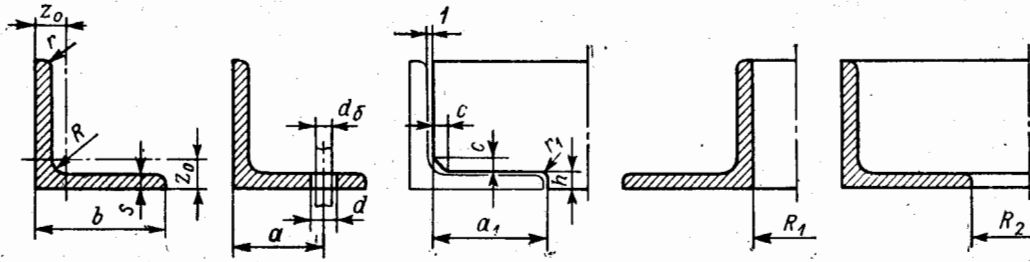
Примечание. Рекомендуемые диаметры сортовой стали обозначены штриховкой

* Допускаемые отклонения указаны только в минусовую сторону.

** Для стали плотностью $\rho = 7,85 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Таблица 2.26

Рекомендуемый сортament угловой равнобокой стали по ГОСТу 8509—57
(материал — Ст.3кп и ВМСт.3сп)



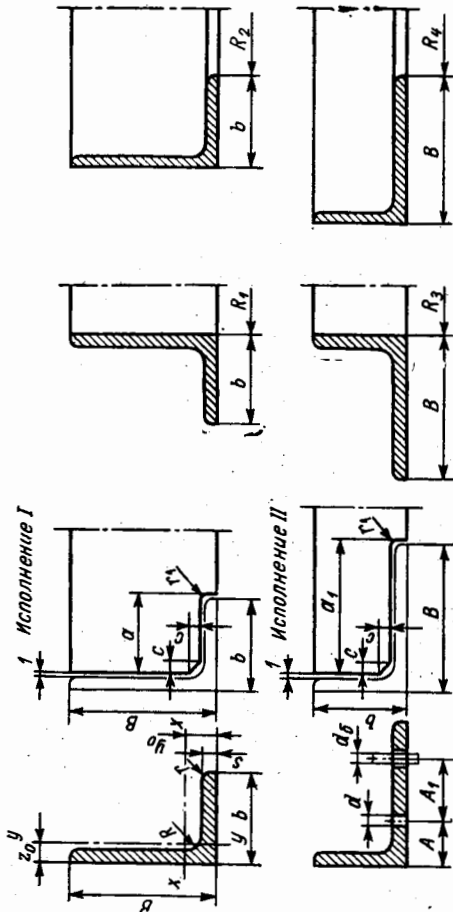
Номер профиля	Размеры профиля, мм					Масса 1 м, кг	Размещение рисок для однорядного расположения от- верстий под за- клепки и болты (по нормали МН 1387—60), мм			Профиль детали, при- мыкающей к угольнику в сварных конструкциях (по нормали МН 1385—60), мм				Наименьший радиусгиба профиля*, мм							
	b	s	R	r	z ₀		a	d	d _б	a ₁	h	c	r ₁	В горячем состоянии		В холодном состоянии					
														R ₁ min	R ₂ min	R ₁ min	R ₂ min				
2	20	3	3,5	1,2	6,0	0,89	13	4,5	M4	17	4	3	1,0	95	85	345	335				
2,5	25				7,3	1,12	15	5,5	M5	22				120	110	435	425				
3,2	32	4	4,5	1,5	9,4	1,81	18	6,5	M6	28	5	4		150	140	555	540				
3,6	36				10,4	2,16	20	9	M8	32				170	155	630	615				
4	40				5,0	1,7	11,3	2,42	22	11				M10	36	6	5	195	175	705	690
4,5	45						12,6	2,73	25						41			220	200	800	775
5	50						5	5,5	1,8						14,2			3,77	30	13	M12	45	6	6	240	220	880	860
5,6	56	6,0	2,0	15,7	4,25	51		270	250	990	965										
6,3	63	6	7,0	2,3	17,8	5,72	35	17	M16	57	7	7		305	280	1110	1085				
7,5	75	8	9,0	3,0	21,5	9,02	45	21,5	M20	67	9	9		1,5	360	330	1330	1285			
8	80				22,7	9,65				72			9		9	385	350	1420	1375		
9	90				10,0	3,3				25,1			10,9		50	23,5	M22	82	10	12	440	400	1600	1560
10	100	10	12,0	4,0	28,3	15,1	55	91	11	12	485	440	1765		1720						
12,5	125	12	14,0	4,6	35,3	22,7	70	26	M24	114	13	14	2,0		600	550	2205	2150			
14	140				39,0	25,5	129	14	14	680				620	2485	2425					
16	160				14	16,0	5,3	44,7	34,0	—				—	—	148	15	16	3,0	780	700	2830	2760

Примечание. Размещение рисок для двухрядного шахматного расположения отверстий под заклепки и болты см. в табл. 2.27.

* Определен по формулам, приведенным в нормалн Н 834—53 завода Уралхиммаш.

Таблица 2.27

Рекомендуемый сортмент неравнобокой угловой стали по ГОСТу 8510—57 (материал — Ст.3кп и ВМСт.3кп)



Номер профиля	Размеры профиля, мм						Размещение рисок для двурядного шахматного расположения отверстий под заклепки и болты (по МН 1387—60), мм	Профиль детали, применяющей к угельнику в сварных конструкциях (по МН 1385—60), мм					Наименьший радиус гiba профиля *, мм									
	B	b	s	R	r	z ₀		y ₀	A	A ₁	d	d ₆	a	a ₁	h	c	r _s	В направлении меньшей полки		В направлении большей полки		
																		В горячем состоянии	В холодном состоянии	В горячем состоянии	В холодном состоянии	
3,2/2	32	20	3	3,5	1,2	4,9	10,8	1,17				17	29	4	4	1	100	90	140	130	520	510
	40	25										22	37				130	115	470	455	180	155	655	630
4,5/2,8	45	28	4	5,0	1,7	6,8	15,1	2,20				24	41	5	5		145	130	200	185	735	720

Продолжение табл. 2.27

Номер профиля	Размеры профиля, мм						Масса 1 м, кг	Размещение рисок для двурядного шахматного расположения отверстий под заклепки и болты (по МН 1387—60), мм				Профиль детали, прилегающей к угольнику в сварных конструкциях (по МН 1385—60), мм				Наименьший радиусгиба профиля°, мм									
	B	b	s	R	r	z ₀		y ₀	A	A ₁	d	d _б	a	a ₁	h	c	r ₁	В горячем состоянии		В холодном состоянии		В горячем состоянии		В холодном состоянии	
																		ш	р	ш	р	ш	р	ш	р
																		ш	р	ш	р	ш	р	ш	р
5/3,2	50	32		5,5	1,8	7,6	16,5	2,49	18	20	6,5	M6	28	46	5		5	165	150	600	585	220	190	820	790
5,6/3,6	56	36	4	6,0	2,0	8,4	18,2	2,81					32	52	6	1		190	170	680	660	250	230	925	905
6,3/4	63	40	5	7,0	2,3	9,5	20,8	3,91	20				35	58	6	7		210	185	755	730	285	260	1050	1025
7,5/5	75					12,1	24,4	5,69		28	9	M8		69				260	235	935	910	335	310	1240	1215
8/5	80			8,0	2,7	11,7	26,5	5,92	30	35	11	M10	44	73	7	9	1,5	270	245	945	920	355	330	1310	1285
9,5/5,6	90	56		9,0	3,0	13,6	30,4	8,77		40	13	M12	48	82		10		290	260	1045	1015	400	370	1470	1440
10/6,3	100	63		10,0	3,3	15,0	33,2	9,87	40				56	93	9	12		325	290	1185	1150	440	410	1635	1600
12,5/8	125	80		11,0	3,7	19,2	41,4	15,5	55	35	23,5	M22	71	116		2		415	375	1500	1460	555	515	2050	2010
14/9	140	90		12,0	4,0	21,2	45,8	17,5	60	40	26	M24	81	131	11	14		470	420	1700	1650	630	580	2315	2265
16/10	160	100	12	13,0	4,3	23,6	53,2	23,6		70	23,5	M22	89	149	13	16	3	525	470	1900	1845	655	600	2600	2545

Примечание. Размещение рисок для однорядного расположения отверстий под заклепки и болты см. в табл. 2.26.

* Определен по формулам, приведенным в нормативе Н 834—53 завода Уралхиммаш.

Таблица 2.28

Рекомендуемый сортмент швеллеров из Ст.3кп и ВМСт.Зсп по ГОСТу 8240—56

Номер профиля	Размерь профиля, мм										Масса 1 м, кг	Размещение рисок для отверстий под заклепки и болты (по МН 1387—60), мм						Наименьший радиус глеба профиля, мм								
	h	b	s	t	R	r	z ₀	a	d	d ₀		Полка	Стенка	l	l ₁	l ₂	l ₃	l ₄	l ₅	l ₆	По осн y—y	По осн x—x				
5	50	32	4,4	7,0	6,0	2,5	11,6	20	9	M8				38	33	6,0	28	6	4	1,5	135	125	500	490	150	600
	6,5	65						36	7,2						52	47	6,5				32					
8	80	40	4,5	7,4	6,5	13,1	25							68	60	6,0	36				180	170	660	650	245	960
	10	100					46							7,6	7,0	3,0	14,4				30	M10	9	M8	87	80

Профиль детали, прилегающей к швеллеру в сварных конструкциях (по МН 1385—60), мм

Продолжение табл. 2.28

Номер профиля	Размеры профиля, мм							Масса 1 м, кг	Размещение рисок для отверстий под заклепки и болты (по МН 1387-60), мм						Наименьший радиусгиба профиля, мм												
	h	b	s	t	R	r	z ₀		Полка			Стенка			Профиль детали, примыкающей к швеллеру в сварных конструкциях (по МН 1385-60), мм					По оси y-y		По оси x-x					
									a	d	d _б	a ₁	A	d ₁	d _{б1}	γ	Γ	Γ	h ₁ (+0,5)	h ₂ (+0,5)	c	r ₁	R _г min	R _г min	R _г min	R _г min	
12	120	52	4,8	7,8	7,5		15,4	10,4	30			38	44	13	M12	107	99	6,5	47	4	4	245	225	900	880	370	1440
14а	140	62	4,9	8,7	8,0	3,0	18,7	13,3	35	17	M16	42	56	15	M14	126	116		57		5	310	280	1120	1090	430	1680
16а	160	68	5,0	9,0	8,5		20,0	15,3	40	20	M18	50	60	17	M16	146	134	7,0	63		7	325	295	1180	1150	490	1920
18а	180	74	5,1	9,3	9,0	3,5	21,3	17,4	45			55	70	30	M18	166	153		69		6	355	325	1290	1260	550	2160
20а	200	80	5,2	9,7	9,5		22,8	19,8	50	23,5	M22	60	80	23,5	M22	185	171		76		6	385	350	1400	1365	615	2400
22а	220	87	5,4	10,2	10,0	4,0	24,6	22,6				90				205	190		83		7	420	380	1530	1490	675	2640
24а	240		5,6	10,7	10,5		26,7	25,8				65				225	208	7,5	90		7	460	415	1675	1630	735	2880
27	270	95	6,0	10,5	11,0	4,5	24,7	27,7	60	26	M24	70	130	26	M24	255	239				8	475	430	1735	1690	830	3235
30	300	100	6,5	11,0	12,0	5,0	25,2	31,8				160				285	268		94		8	510	465	1850	1805	920	3600
36	360	110	7,5	12,6	14,0	6,0	26,8	41,9	70			75	210			342	323	9,0	104		10	565	510	2050	1995	1105	4320

* Определен по формулам, приведенным в нормалн Н 834-53 завода Уралхиммаш.

Рекомендуемый для химической аппаратуры сортament труб из углеродистой и высоколегированной стали
(по ОН 12-45-62, 26-01-52-67, 26-02-6-66, 26-02-7-66,
26-02-9-66 и 26-02-10-66)

Назначение	Размеры труб, мм, для сталей марок										
	10	20	10Г2	X5M; X8	0X13	0X17T; X25T	0X21H5T	1X21H5T	0X18H10T	X18H10T	X17H13M2T
Теплообменники типа «труба в трубе» (типы и основные размеры по ГОСТу 9930-67)	25×3; 38×3,5; 48×4; 48×5; 60×4; 60×6; 76×4; 76×6; 89×5; 89×7; 108×4; 108×6; 108×7; 114×10; 133×4; 133×6; 133×8; 146×11; 159×4,5; 159×6; 159×8; 168×12; 194×5; 194×7; 219×6; 219×7						25×3; 38×3,5; 48×4; 48×5; 60×4; 60×6; 76×4; 76×6; 89×5; 89×7; 108×5; 108×6; 108×7		25×3; 38×3,5; 48×4; 48×5; 60×4; 60×6; 76×4; 76×6; 89×5; 89×7; 108×5; 108×6; 108×7; 114×10; 133×5; 133×6; 133×8; 146×11; 159×6; 159×8; 168×12		
Кожухотрубные теплообменники (типы и основные размеры по ГОСТу 9929-67)	16×1,6; 20×2; 25×2; 25×2,5; 38×2; 38×3; 57×3			—			20×2; 25×2; 25×3; 38×2; 56×3,5				
Холодильники и конденсаторы кожухотрубные с плавающей головкой (основные параметры и размеры по ОН 26-02-10-66 и по 26-02-9-66)	25×2,5	25×2,5; 325×9; 426×9; 426×12	—	20×2; 25×2	—	—			20×2; 25×2		20×2; 25×2
Теплообменники кожухотрубные с U-образными трубами (основные параметры и размеры по ОН 26-02-7-66)				25×2,5							
Испарители с паровым пространством (основные параметры и размеры по ОН 26-02-6-66)				25×2,5	25×2,5						
Теплообменники витые однопочные цельносварные стальные с жестким сердечником (основные параметры и размеры по ОН 26-01-52-67)	16×1,6; 25×2	—	16×1,6							12×1,2; 16×1,4	
Теплообменники больших поверхностей теплообмена для азотной промышленности	—	10×2; 22×2; 32×2,5	—								

Назначение	Размеры труб, (мм) для стальной марки									
	10	20	10Г2	X5M; X8	OX13	OX17T; X25T	OX21H5T	1X21H5T	OX18H10T	X18H10T	X17H13M2T
Змеевики	38×3,5; 38×4; 57×3,5									
Паровые патрубки для капсульных колпачков колонных аппаратов	57×3,5; 70×3,5; 95×4									
Сливные патрубки для тарелок колонных аппаратов	57×3,5; 89×4; 108×4; 133×4; 159×4,5; 194×6; 273×9									
Насадки для колонн синтеза	14×2; 18×2; 22×2									
Окна смотровые	57×3,5; 89×4 108×4; 159×4,5									
Детали внутренних устройств химической аппаратуры	16×2; 16×3; 38×2,5; 45×2,5; 76×6; 377×10									
Аппараты контактного производства серной кислоты	50×2,5; 76×3,5									
Вакуумфильтры в целлюлозном производстве	—									
Варочные котлы в целлюлозном производстве	—									
Патрубки штуцеров аппаратов	14×3; 18×3 25×3; 32×3,5 38×4; 45×4 57×3,5; 57×6 76×4; 89×4,5 108×4; 133×4 133×7; 159×4,5 159×7; 194×6 194×10; 219×6 219×8; 245×7 245×10; 273×9 325×10; 325×12 426×9; 426×11									
	25×3 32×3 38×3 45×3,5 56×3,5 76×4 89×4,5 108×6 133×6 159×6									
Патрубки штуцеров аппаратов	14×2,5 18×2,5 18×3 25×3 32×3 38×3 45×3 56×3,5 76×4 89×4,5 108×6									
	14×2,5 18×2,5 18×3 25×3 32×3 38×3 45×3 56×3,5 76×4 89×4,5 108×6									
Патрубки штуцеров аппаратов	16×1; 16×2; 28×2; 108×6; 108×12									
	50×2,5									
Патрубки штуцеров аппаратов	63×3,5; 194×28									
	194×10; 219×12; 273×12; 325×12									

Рекомендуемый сортамент труб из стали 09Г2С (М) по ЧМТУ/УкрНИТИ 574—64 для патрубков аппаратов и для трубопроводов химических производств

Таблица 2.30

D_y , мм	$D_H \times s$, мм	Допускаемые отклонения*		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гiba **, мм (по ГОСТу 9842—61)	D_y , мм	$D_H \times s$, мм	Допускаемые отклонения*		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гiba **, мм (по ГОСТу 9842—61)
		по наружному диаметру	по толщине стенки					по наружному диаметру	по толщине стенки		
150	159×4,5	±1%	+12,5% -15%	17,15	450	250	273×7	±1,25%	+12,5% -15%	45,92	800
	22,64			273×9			58,60				
200	219×6			31,52		300	325×10			77,68	
	219×8			41,63			325×12			92,63	

* Для труб обычной точности изготовления.
** По оси трубы.

Рекомендуемый сортамент электросварных труб для обечаек аппаратов с наружным базовым размером и для газопроводов химических производств (по ГОСТу 10704—63)

Таблица 2.31

D_y , мм	$D_H \times s$, мм	Допускаемое отклонение по D_H , мм	Масса 1 м, кг	R_y , Мн/м ²		D_y , мм	$D_H \times s$, мм	Допускаемое отклонение по D_H , мм	Масса 1 м, кг	R_y , Мн/м ²	
				Для неагрессивных и малоагрессивных сред	Для среднеагрессивных сред					Для неагрессивных и малоагрессивных сред	Для среднеагрессивных сред
400	(426×4)	±4,0	41,63	≤1,0	—	900	(920×6)	±6,5	135,20	≤1,0	—
	426×5		51,91	1,6	—		920×8		179,90	1,6	—
	426×7		72,33	—	≤0,6		920×9		202,20	≤1,6*	≤0,6; ≤0,6*
	426×9		92,56	≤1,6*	1,0; 1,6; ≤1,6*		920×10		224,40	—	1,0; 1,0*
450	(480×4)	±4,2	46,95	≤1,0	—	1000	(1020×6)	±7,0	150,00	≤1,0	—
	480×5		58,57	1,6	—		1020×9		224,40	1,6; ≤1,6*	≤0,6; ≤0,6*
	480×7		81,65	—	≤0,6		1020×10		249,10	—	1,0; 1,0*
	480×9		104,52	≤1,6*	1,0; 1,6; ≤1,6*		1020×14		347,30	—	1,6; 1,6*
500	(530×5)	±4,5	64,73	≤1,6	—	1100	(1120×6)	±7,5	164,80	≤1,0	—
	530×7		90,28	—	≤0,6		1120×9		246,60	1,6; ≤1,6*	≤0,6; ≤0,6*
	530×9		115,62	≤1,6*	1,0; 1,6; ≤1,6*		1120×11		300,80	—	1,0; 1,0*
600	(630×5)	±5,0	77,06	≤1,0	—	1200	(1220×7)	±8,0	209,40	≤1,0	—
	630×6		92,33	1,6	—		1220×10		298,40	1,6; ≤1,6*	≤0,6; ≤0,6*
	630×9		137,81	≤1,6*	≤1,0; ≤1,0*		1220×12		357,50	—	1,0; 1,0*
	630×10		152,89	—	1,6; 1,6*		1220×14		416,40	—	1,6; 1,6*
700	(720×6)	±5,5	105,70	≤1,6	—	1400	(1420×8)	±9,0	278,60	≤1,0	—
	720×9		157,80	≤1,6*	≤1,0; ≤1,0*		1420×10		347,70	≤1,6	≤0,6; ≤0,6*
	720×11		192,30	—	1,6; 1,6*		1420×12		416,70	≤1,6*	1,0; 1,0*
800	(820×6)	±6,0	120,50	≤1,0	—	1400	(1420×16)	±9,0	554,00	—	1,6; 1,6*
	820×7		140,30	1,6	—		1420×10		347,70	≤1,6	≤0,6; ≤0,6*
	820×9		180,00	≤1,6*	≤1,0; ≤1,0*		1420×12		416,70	≤1,6*	1,0; 1,0*
	820×12		239,10	—	1,6; 1,6*		1420×16		554,00	—	1,6; 1,6*

Примечания:

1. Трубы, размеры которых заключены в скобки, будут поставляться после пуска нового оборудования.
2. Материал труб — сталь ВМСт.Зсп по ГОСТу 380—60.

* Трубы, применяемые для плоских приварных фланцев.

Таблица 2.32

Рекомендуемый сортамент стальных электросварных труб по ГОСТу 10704—63 для трубопроводов химических производств на $p_H \leq 2,5 \text{ Мн/м}^2$

D_y , мм	$D_H \times s$, мм	Допускаемые отклонения		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус ггиба*, мм (по ГОСТу 9842—61)	D_y , мм	$D_H \times s$, мм	Допускаемые отклонения		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус ггиба*, мм (по ГОСТу 9842—61)
		по наружному диаметру	по толщине стенки					по наружному диаметру	по толщине стенки		
10	14×1,5	±0,3 мм	±10%	0,462	18	50	57×3	±0,8%	±10%	4,00	110
15	18×2			0,789	28		57×3,5 **			4,62	
20	25×2			1,13	50		89×3			6,36	
25	32×2	±0,4 мм	±10%	1,48	60	80	89×4 **	±0,8%	±10%	8,38	250
	32×3 **			2,15	70		108×3			7,77	
32	38×2			1,78	70		108×4 **			10,26	
40	45×2,5	±0,4 мм	±10%	2,62	90	125	133×3,5	±0,8%	±10%	11,18	400
	45×3 **			3,11	90		133×4 **			12,73	

Примечания:

1. Материал труб — сталь 20 по ГОСТу 1050—60.
2. Для коммуникационных трубопроводов с большим количеством фланцевых соединений и для межцеховых коммуникаций, где применение основного ряда труб вызывает необходимость установки большого количества добавочных опор, допускается применение труб размером 32×3, 38×3, 45×3 взамен труб 32×2, 38×2, 45×2,5.

* По оси трубы.

** Трубы, применяемые для плоских приварных фланцев.

Таблица 2.33

Рекомендуемый сортамент нержавеющей электросварных труб по ГОСТу 11068—64 для трубопроводов химических и нефтехимических производств на $p_H \leq 2,5 \text{ Мн/м}^2$

D_y , мм	$D_H \times s$, мм	Допускаемые отклонения*		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус ггиба**, мм (по ГОСТу 9842—61)	D_y , мм	$D_H \times s$, мм	Допускаемые отклонения*		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус ггиба**, мм (по ГОСТу 9842—61)
		по наружному диаметру	по толщине стенки					по наружному диаметру	по толщине стенки		
10	12×1,4	±0,4 мм	±0,2 мм	0,365	18	40	45×2,5	±0,25 мм	±1%	2,62	90
	12×1,8			0,452			45×3			3,11	
15	20×2			0,888	40		57×2,5			3,36	
20	25×2	1,13	50	50	57×3	4,00					
25	32×2	±1%	±0,25 мм	1,48	60	80	60×4	±1%	±10%	5,52	160
	32×2,5			1,82			89×3			6,36	
	32×3			2,15			89×3,5			7,38	
32	38×2	±1%	±0,25 мм	1,78	70	100	89×4	±10%	±10%	8,38	360
	38×2,5			2,19			102×3,5			8,50	
	38×3			2,59			102×4			9,67	

Примечания:

1. Материал труб — стали марок 1Х21Н5Т, 0Х21Н5Т, 0Х18Н10Т, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т, Х17Н13М3Т, 0Х23Н28М3Д3Т по ГОСТу 5632—61 и сталь марки 00Х18Н10Т по ГОСТу 11068—64.
2. Трубы поставляются в термически обработанном состоянии. Поставка труб без термической обработки должна быть оговорена при заказе.

* Для труб обычной точности изготовления.

** По оси трубы.

Рекомендуемый сортмент бесшовных труб по ГОСТам 8734—58 и 8732—58 из углеродистой, низколегированной и легированной сталей для трубопроводов химических производств на $P_H \leq 10 \text{ МПа}$ [36, 37]

D_H , мм	$D_H \times s$, мм	Допускаемые отклонения (для труб обычной точности изготовления)		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гиба (по ГОСТу 9842-61)	Для неагрессивных и малоагрессивных сред				Для агрессивных сред					
		по наружному диаметру	по толщине стенки			для сталей марок				для агрессивных сред					
						20	10Г2	12Х1МФ	Х5М; Х5ВФ; 1Х8ВФ	20	10Г2	12Х1МФ	Х5М; Х5ВФ; 1Х8ВФ		
10	14×1,6			0,490	18	≤ 10	$\leq 6,4$	≤ 10	≤ 10	—	—	—	—	—	
	14×3			0,814		$\leq 2,5^{***}$	$\leq 2,5^{***}$	—	—	≤ 10	$\leq 6,4$	≤ 10	≤ 10	—	—
15	18×1,6	$\pm 0,3 \text{ мм}$	$\pm 10\%$	0,647	28	≤ 10	$\leq 6,4$	≤ 10	≤ 10	—	—	—	—	—	
	18×3			1,11		$\leq 2,5^{***}$	$\leq 2,5^{***}$	—	—	≤ 10	$\leq 6,4$	≤ 10	≤ 10	—	—
20	25×1,6			0,925	50	≤ 10	$\leq 6,4$	≤ 10	≤ 10	—	—	—	—	—	
	25×3	$\pm 0,5 \text{ мм}$	+12,5% —15%	1,63		$\leq 2,5^{***}$	$\leq 2,5^{***}$	—	—	≤ 10	$\leq 6,4$	≤ 10	≤ 10	—	—
	25×3,5			1,86		—	—	—	—	≤ 10	$\leq 2,5^{***}$	≤ 10	≤ 10	—	—
25	32×2	$\pm 0,4 \text{ мм}$	$\pm 10\%$	1,48	60	≤ 10	$\leq 6,4$	≤ 10	≤ 10	—	—	—	—	—	
	32×3,5	$\pm 0,5 \text{ мм}$	+12,5% —15%	2,46		$\leq 2,5^{***}$	$\leq 2,5^{***}$	—	—	≤ 10	$\leq 6,4$	≤ 10	≤ 10	—	—
	38×2	$\pm 0,4 \text{ мм}$	$\pm 10\%$	1,78		≤ 10	$\leq 6,4$	≤ 10	≤ 10	—	—	—	—	—	—
32	38×3,5	$\pm 0,5 \text{ мм}$	+12,5% —15%	2,98	70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	38×4	$\pm 0,4 \text{ мм}$	$\pm 10\%$	3,35		$\leq 2,5^{***}$	$\leq 2,5^{***}$	—	—	≤ 10	$\leq 6,4$	≤ 10	≤ 10	—	—
	45×2,5			2,62		≤ 10	$\leq 6,4$	≤ 10	≤ 10	—	—	—	—	—	—
40	45×3,5	$\pm 0,5 \text{ мм}$		3,58	90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	45×4	$\pm 0,5 \text{ мм}$		4,04		$\leq 2,5^{***}$	$\leq 2,5^{***}$	—	—	≤ 10	$\leq 6,4$	≤ 10	≤ 10	—	—
	57×3		+12,5% —15%	4,00		—	—	≤ 10	≤ 10	—	—	—	—	—	—
50	57×3,5	$\pm 1\%$		4,62	110	≤ 10	$\leq 6,4$	—	—	—	—	—	—	—	
	57×5			0,41		$\leq 2,5^{***}$	$\leq 2,5^{***}$	—	—	≤ 10	$\leq 6,4$	≤ 10	≤ 10	—	—
	57×6			7,55		—	—	—	—	≤ 10	$\leq 2,5^{***}$	≤ 10	≤ 10	6,4; 10	6,4; 10

Продолжение табл. 24.3

D _y , мм	D _n × s, мм	Допускаемые отклонения (для труб обычной точности изготовления)		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус изгиба (по ГОСТ 9842-61)	R _y , МПа/М ²						Для агрессивных сред									
		по наружному диаметру	по толщине стенки			Для неагрессивных и малоагрессивных сред			Для средней агрессивных сред			Для агрессивных сред									
						20	10Г2	12Х1МФ	Х5; Х5М; Х5ВФ; 1Х8ВФ	Х5М **	20	10Г2	12Х1МФ	Х5; Х5М; Х5ВФ; 1Х8ВФ							
70	76×3,5	±1%	+12,5% -15%	6,26	225	≤6,4	≤6,4	≤10	≤10	Х5М **	20	10Г2	≤4	≤4	Х5М **						
	76×4	7,10		≤2,5***		≤2,5***	—	—	—				—	—		—	—	—	—		
	76×5	8,75		—		—	—	—	—				—	—		—	—	—	—	—	
	76×6	10,36		—		—	—	—	—				—	—		—	—	—	—	—	—
	76×7	11,91		—		—	—	—	—				—	—		—	—	—	—	—	—
80	89×3,5	±1%	+12,5% -15%	7,38	250	≤6,4	≤6,4	≤10	≤6,4	Х5М **	20	10Г2	≤2,5	≤2,5	Х5М **						
	89×4,5	9,38		≤2,5***		≤2,5***	—	—	—				—	—		—	—	—	—		
	89×6	12,28		—		—	—	—	—				—	—		—	—	—	—	—	—
	89×7	14,16		—		—	—	—	—				—	—		—	—	—	—	—	—
	89×8	15,98		—		—	—	—	—				—	—		—	—	—	—	—	—
100	108×4	±1%	+12,5% -15%	10,26	360	≤6,4	≤6,4	≤6,4	≤6,4	Х5М **	20	10Г2	≤2,5	≤2,5	Х5М **						
	108×4,5	11,49		≤2,5***		≤2,5***	—	—	—				—	—		—	—	—	—		
	108×5	12,70		—		—	—	—	—				—	—		—	—	—	—	—	—
	108×6	15,09		—		—	—	—	—				—	—		—	—	—	—	—	—
	108×7	17,44		—		—	—	—	—				—	—		—	—	—	—	—	—
125	108×8	±1%	+12,5% -15%	19,73	400	≤6,4	≤6,4	≤6,4	≤6,4	Х5М **	20	10Г2	≤2,5	≤2,5	Х5М **						
	108×9	21,97		≤2,5***		≤2,5***	—	—	—				—	—		—	—	—	—		
	133×4	12,73		≤6,4		≤6,4	≤6,4	≤6,4	≤10				≤10	≤10		≤10	≤10	≤2,5	≤2,5	≤4	
	133×5	15,78		10		—	10	—	—				—	—		—	—	—	—	—	6,4
	133×6	18,79		—		—	—	—	—				—	—		—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 2.34

D _{вн} , мм	D _н × S, мм	Допускаемые отклонения (для труб обычной точности изготовления)		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус R _{мин} (по ГОСТ 9842-81)	R _т , Мн/м ² для сталей марок					Для агрессивных сред						
		по наружному диаметру	по толщине стенки			Для неагрессивных и малоагрессивных сред					Для среднеагрессивных сред						
						20	10Г2	12Х1МФ	Х5; Х5М; Х5ВФ; 1Х8ВФ	20	10Г2	12Х1МФ	Х5; Х5М; Х5ВФ; 1Х8ВФ				
125	133×7			21,75	400					≤6,4 ≤2,5***	≤6,4 ≤2,5***	6,4	6,4	10			
	133×9			27,52								10	10				
	133×10			30,33													
150	159×4,5			17,15	450	≤6,4 ≤2,5***	≤6,4 ≤2,5***	≤6,4	≤6,4	≤10		≤2,5	≤2,5	≤4			
	159×6			22,64		10		10					4		6,4		
	159×7			26,24					10					4			
	159×8			29,79											4		
	159×10			36,75											6,4	10	
	159×11			40,15											10		
175	194×5			23,31	630	≤6,4	≤6,4										
	194×6	±1%	+12,5% -15%	27,82		≤2,5***	≤2,5***	≤6,4	≤6,4	≤10		≤2,5	≤2,5	≤2,5	≤4		
	194×7			32,28				10							4	6,4	
	194×8			36,70		10			10							4	
	194×9			41,06												6,4	10
	194×10			45,38												10	
200	219×12			53,86	630												
	219×7			36,60		≤6,4 ≤2,5***	≤6,4 ≤2,5***	≤6,4	≤6,4	≤10		≤2,5	≤2,5	≤2,5	≤6,4		
	219×8			41,63				10						4			
	219×9			46,61		10			10						4		
	219×10			51,54											6,4	10	
	219×11			56,43											10		
219×14			70,78										10				

D _y , мм	D _H × s, мм	Допускание отклонения (для труб обычной точности изготовления)		Масса 1 м, кг	Минимальный диаметр * мм (по ГОСТ 9842-61)	R _y , МПа/мм²						Для агрессивных сред							
		по наружному диаметру				Для неагрессивных и малоагрессивных сред			Для средне-агрессивных сред			Для агрессивных сред							
		по толщине стенки	по наружному диаметру			10Г2	12Х1МФ	Х5; Х5М; Х5БФ; 1Х8ВФ	20	10Г2	12Х1МФ	Х5; Х5М; Х5БФ; 1Х8ВФ							
250	273×7			45,92	800	≤6,4 ≤2,5***	≤6,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	273×8			52,28		—	—	—	≤6,4	≤10	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	273×9	+12,5% -15%		58,60		—	—	—	—	—	≤4 ≤2,5***	≤4 ≤2,5***	4	4	—	—	—	—	—
	273×11			71,07		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	273×12			77,24		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	273×14			89,42		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	273×16	±12,5%		101,41		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
300	325×9			70,14	900	≤6,4 ≤2,5***	≤6,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	325×10	+12,5% -15%		77,68		—	—	—	—	—	≤4 ≤2,5***	≤4	—	—	—	—	—	—	—
	325×12			92,63		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	325×14			107,38		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	325×16			121,93		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	325×18	±1,25%		136,28		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
350	377×9			81,68	1120	≤4 ≤2,5***	≤4 ≤2,5***	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	377×10	+12,5% -15%		90,51		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	377×12			108,02		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	377×14			125,33		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	377×16			142,44		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	377×17			150,93		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	377×18	+12,5%		159,36		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	377×20			176,08		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 2.34

$D_n \times s, \text{мм}$	Допускаемые отклонения (для труб обычной точности изготовления)	Масса 1 м, кг	Минимальный радиус изгиба (по ГОСТу 9842-81)	$R_{\sigma}, \text{МПа}$							
				Для неагрессивных и малоагрессивных сред			Для агрессивных сред				
				Для сталей марок							
				20	10Г2	12Х1МФ	Х5; Х5М; Х5ВФ; 1Х8ВФ	20	10Г2	12Х1МФ	Х5; Х5М; Х5ВФ; 1Х8ВФ
496×10		102,59		≤ 4	≤ 4	—	—	—	—	—	—
496×11	+12,5% —15%	112,58		$\leq 2,5$ ***	$\leq 2,5$ ***	$\leq 6,4$	—	≤ 4	≤ 4	≤ 4	—
496×12		122,52		6,4	6,4	$\leq 6,4$	—	$\leq 2,5$ ***	$\leq 2,5$ ***	$\leq 6,4$	—
496×14		142,25	1250	—	—	—	$\leq 6,4$	—	—	—	$\leq 6,4$
496×16	$\pm 1,25\%$	161,78		—	—	—	—	6,4	6,4	6,4	—
496×17		171,47		—	—	10	—	—	—	—	—
496×18	+12,5%	181,11		—	—	—	10	—	—	—	6,4
496×20		200,25		—	—	—	—	—	—	10	—
496×22		219,19		—	—	—	—	—	—	—	10

Примечания:

1. Допустимое рабочее давление для принятой ступени условного давления определяется по табл. 2.9 в зависимости от марки стали и температуры рабочей среды.
2. Размеры труб 14×1,6; 18×1,6; 25×1,6; 32×2; 38×2; 45×2,5 мм соответствуют ГОСТу 8734—82, остальных труб—ГОСТу 8732—88.
3. Для трубопроводов на $R_{\sigma} \leq 1,6 \text{ МПа}$ применены бесшовные трубы по ГОСТам 8732—88 и 8734—88 из стали марки 20 и возможность замены их электросварными трубами по ГОСТу 10704—63 решается проектными организациями в зависимости от условий работы трубопровода и характера среды.
4. Для коммуникационных трубопроводов с большим количеством фланцевых соединений и для межцеховых коммуникаций, где применение основного ряда вызывает необходимость установки большого количества добавочных опор, допускается применение труб размерами 14×3; 18×3; 25×3; 32×3,5; 38×4; 45×4 взамен труб размерами 14×1,6; 18×1,6; 25×1,6; 32×2; 38×2 и 45×2,5 мм.
5. Трубы с $D_n = 175 \text{ мм}$ применяются только для тепловых сетей. На $D_n = 175 \text{ мм}$ общепромышленная арматура не выпускается.
6. Толщины стенок труб рассчитаны в соответствии с нормами Госгортехнадзора и приняты для неагрессивных и малоагрессивных сред для труб из стали марок 20 и 10Г2 без прибавки на коррозию, а для труб из легированной стали марок 12Х1МФ, Х5, Х5М, Х5ВФ и 1Х8ВФ, применяемых на $R_{\sigma} = 6,4 \text{ МПа}$ и $R_{\sigma} = 10 \text{ МПа}$ с прибавкой на коррозию к расчетной толщине в следующих величинах:
 Для $D_n = 10 \text{—} 100 \text{ мм}$ 1,5—3,5 мм
 Для $D_n > 100 \text{ мм}$ 3—6 мм

Для труб из сталей марок 20 и 10Г2, предназначенных для работы со среднеагрессивными средами, толщины стенок приняты с прибавкой к расчетной толщине в следующих величинах:

Для $D_n \leq 40 \text{ мм}$ 1,5—2 мм
 Для $D_n = 50 \text{—} 100 \text{ мм}$ 3,5—4,5 мм
 Для $D_n > 125 \text{ мм}$ 4—5 мм

7. Для неагрессивных сред скорость коррозии металла принята равной $\leq 0,01 \text{ мм/год}$, для малоагрессивных сред — свыше 0,01 до 0,1 мм/год, для сред неагрессивных и агрессивных сред — свыше 0,1 до 0,5 мм/год.

* По оси трубы.

** Сталь со специальной термической обработкой по ЧМТУ/Укр. НИТИ 539—68.

*** Трубы, применяемые для плоских приварных фланцев.

Таблица 2.35

Рекомендуемый сортамент бесшовных труб по ГОСТам 9940—62 и 9941—62 из высоколегированной нержавеющей и кислотостойкой сталей для трубопроводов химических производств на $P_y \leq 10 \text{ Мн/м}^2$ [37]

$D_y, \text{ мм}$	$D_n \times s, \text{ мм}$	Допускаемые отклонения *		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус ги- ба $r, \text{ мм}$ (по ГОСТу 9942—61)	$P_y, \text{ Мн/м}^2$													
						Для неагрессивных и малоагрессивных сред				Для агрессивных сред									
		по наружно- му диаметру	по толщине стенки			Для сталей марок													
						X18H10T	OX17T X28 X17H13M2T	OX17H16M3T OX23H18	OX21H6T 1X21H6T	X18H10T	OX17T X28 X17H13M2T	OX17H16M3T OX23H18	OX21H6T 1X21H6T						
10	14×1,4	±0,45 мм	±15%	0,434	18	≤10	≤10	≤10	≤10	—	—	—	—						
	14×2,5			0,709		—	—	—	—	≤10	≤10	≤10	≤10						
15	18×1,4			0,572	28	≤10	≤10	≤10	≤10	—	—	—	—						
	18×2,5			0,956		—	—	—	—	≤10	≤10	≤10	≤10						
20	25×1,4			±1,2%	±15%	0,813	50	≤10	≤10	≤10	≤10	—	—	—	—				
	25×2,5					1,39		—	—	—	—	≤10	≤10	≤10	≤10				
25	32×1,8					1,34	60	≤10	≤10	≤10	≤10	—	—	—	—				
	32×2,5					1,76		—	—	—	—	≤10	≤10	≤10	≤10				
32	38×2					1,78	70	≤10	≤10	≤10	≤10	—	—	—	—				
	38×3					2,59		—	—	—	—	≤10	≤10	≤10	≤10				
40	45×2					±12,5%	±15%	2,12	90	≤6,4	≤6,4	≤6,4	≤6,4	—	—	—	—		
	45×2,5							2,62		10	10	10	10	≤6,4	≤6,4	≤6,4	≤6,4		
	45×3,5	3,58	—					—		—	—	10	10	10	10				
50	56×2	±15%	±12,5%					2,66	110	≤6,4	≤6,4	≤6,4	≤6,4	—	—	—	—		
	56×3							3,92		10	10	10	10	≤4	≤4	≤4	≤4		
	56×4							5,13		—	—	—	—	6,4; 10	6,4; 10	6,4; 10	6,4; 10		
70	75×2,5			±15%	±12,5%			4,46	225	≤6,4	≤6,4	≤6,4	≤6,4	—	—	—	—		
	75×3,5							6,17		10	10	10	10	≤6,4	≤6,4	≤6,4	≤6,4		
	76×5							8,75		—	—	—	—	10	10	10	10		
80	90×3							+1,5% -2,0%	+20% -15%	6,43	250	≤6,4	≤6,4	≤6,4	≤6,4	—	—	—	—
	89×4,5									9,38		10	10	10	10	≤6,4	≤6,4	≤6,4	≤6,4
	89×6									12,28		—	—	—	—	10	10	10	10

Продолжение табл. 2.35

D_y , мм	$D_n \times s$, мм	Допускаемые отклонения *		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гн. ба °, мм (по ГОСТу 9842-81)	p_y , Мн/м ²								
						Для неагрессивных и малоагрессивных сред				Для агрессивных сред				
		по наружно- му диаметру	по толщине стенки			Для сталей марок								
						X18H10T	OX17T X28 X17H13M2T	OX17H16M3T OX23H18	OX21H5T 1X21H5T	X18H10T	OX17T X28 X17H13M2T	OX17H16M3T OX23H18	OX21H5T 1X21H5T	
100	110×3,5	±1,2%	±12,5	9,19	360	≤6,4	≤6,4	≤6,4	≤6,4	—	—	—	—	
	110×4,5			11,70		10	10	10	10	≤6,4	≤6,4	≤6,4	≤6,4	
	108×7	17,44	—	—		—	—	—	—	10	10	10	10	
125	133×5	+1,5% -2,0%	+20% ±15%	15,78	400	≤6,4	≤6,4	≤6,4	—	—	—	—	—	
	133×6			18,79		10	10	10	6,4	6,4	6,4	—	—	
	133×8			24,66		—	—	—	—	—	—	10	10	10
150	159×6	±1,5%	±15%	22,64	450	≤6,4	≤6,4	—	—	—	—	—	—	
	159×7			26,24		10	10	—	—	—	6,4	6,4	—	—
	159×9			33,29		—	—	—	—	—	—	10	10	—
175	194×9	±1,5%	±15%	41,06	630	≤10	≤10	—	—	—	—	—	—	
	194×11			49,64		—	—	—	—	—	10	10	—	—
200	219×10			51,54		≤10	≤10	—	—	—	—	≤6,4	≤6,4	—
	219×12	61,26	—	—	—	—	—	—	10	10	—	—		
250	273×11	±15%	±15%	71,07	800	≤6,4	—	—	—	—	—	—	—	
	273×12			77,24		10	—	—	—	—	6,4	—	—	—
	273×14			89,42		—	—	—	—	—	—	10	—	—
300	325×12	±1,5%	±15%	92,63	900	≤6,4	—	—	—	—	—	—	—	
	325×14			107,38		10	—	—	—	—	—	6,4	—	—

Примечания:

1. Допустимое рабочее давление для принятой ступени условного давления определяется по табл. 2.9 в зависимости от марки стали и от температуры рабочей среды.

2. Замена марки X18H10T на OX18H10T допускается в обоснованных случаях.

3. Масса труб из стали марки X17 на 2% меньше, из стали марок X25T, X28, OX21H5T, 1X21H5T на 3% меньше, из стали марки OX17H16M3T на 3% больше, из стали марки X17H13M2T на 2% больше, из стали марки OX23H18 на 1% больше, чем указано в таблице.

4. Толщины стенок труб рассчитаны в соответствии с нормами Госгортехнадзора и приняты для труб, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами на $p_y = 6,4$ Мн/м² и $p_y = 10$ Мн/м² с прибавкой на коррозию к расчетной толщине в следующих величинах:

$$\begin{aligned} \text{Для } D_y = 10 \div 80 \text{ мм} & \dots \dots \dots 1-1,5 \text{ мм} \\ \text{Для } D_y > 100 \text{ мм} & \dots \dots \dots 2 \text{ мм} \end{aligned}$$

- * Для труб обычной точности изготовления.
** По оси трубы.

Таблица 2.36

Рекомендуемый сортамент бесшовных труб из углеродистой, легированной и высоколегированной сталей для трубопроводов химических производств на $P_y = 16 \div 40 \text{ Мн/м}^2$ [38]

$D_y, \text{мм}$	$D_n \times s, \text{мм}$	Допускаемые отклонения (для труб обычной точности изготовления)		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гиба*, мм (по ГОСТУ 9942-61)	$P_y, \text{Мн/м}^2$									
						Для неагрессивных и малоагрессивных сред				Для агрессивных сред					
		по наружному диаметру	по толщине стенки			Для сталей марок									
						20	12Х1МФ	Х5М; Х5ВФ; Х16Н10Т	Х5М**	Х17Н13М2Т	20	Х5М; Х5ВФ	Х5М**	Х16Н10Т; Х17Н13М2Т	
10	16×2,5	±0,3 мм	±10%	0,832	18	25	40	—	—	—	—	—	—	—	
	18×2,5			0,956	28	16	—	16	—	16	—	—	—	—	
	18×3,5			1,25	—	—	—	—	—	—	—	16	16	—	16
	18×4,5			1,50	—	—	—	—	—	—	—	16	16	—	—
15	22×2,5	±0,5 мм	+12,5% -15%	1,20	50	20	16 ***	—	—	—	—	—	—	—	
	25×5			2,47		—	—	—	—	16	16	—	—	—	—
20	25×2,5			1,39	55	16	—	16	—	16	—	—	—	—	—
	25×3,5			1,86		—	—	—	—	—	—	—	—	—	16
	28×2,5			1,57		—	16 ***	20	—	—	—	—	—	—	—
	28×3			1,85		25	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25	28×3,5			2,11	60	—	40	—	—	—	—	—	16	16	—
	32×5			3,33		—	—	—	—	—	—	—	16	16	—
	32×2,5			1,76		16	—	16	—	16	—	16	—	—	—
32	32×3,5			2,46	70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16
	42×3			2,89		—	16 ***	—	—	—	—	—	—	—	—
	42×3,5			3,32		20	—	—	—	—	—	—	16	16	—
40	48×6	6,21	100	—	—	—	—	—	—	—	16	16	—		
	48×2,5	2,81		—	—	16	—	16	—	—	—	—	—		
	48×4	4,34		20	—	16	—	16	—	—	—	16	16		
50	48×5	5,30	160	—	—	—	—	—	16	—	—	—	16		
	60×3	4,22		—	—	—	16	—	—	—	—	—	—		
	60×4	5,52		16	—	16	—	16	—	—	—	—	—		
	60×6	7,99		—	—	—	—	—	—	—	16	16	16		
60	60×7	9,15	225	—	—	—	—	—	—	—	16	16	—		
	76×6	10,36		20	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	76×7	11,91		25	—	—	—	—	—	—	—	16	16		
	76×8	13,42		—	—	—	—	—	—	—	16	16	—		
	76×10	16,28	—	—	—	40	—	—	—	—	—	—			

$D_y, мм$	$D_n \times s, мм$	Допускаемые отклонения (для труб обычной точности изготовления)		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гиба°, мм (по ГОСТу 8042-61)	$R_y, Мн/м^2$											
						Для неагрессивных и малоагрессивных сред				Для агрессивных сред							
		по наружному диаметру	по толщине стенки			Для сталей марок											
						20	12Х1МФ	Х5М; Х6БФ; Х18Н10Т	Х5М**	Х17Н13М2Т	20	Х5М; Х6БФ	Х5М**	Х18Н10Т; Х17Н13М2Т			
70	76×4	±12,5% -15%	±1%	7,10	225	—	16	—	16	—	—	—	—	—			
	76×5			8,75		16	20	16	—	16	—	—	—	—			
	89×8			15,98	250	—	—	—	—	—	—	16	16	—	—		
	89×10			19,48		—	—	—	—	—	16	16	—	—			
80	89×4,5			9,38	250	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	89×6			12,28		16	—	16	—	16	—	—	—	—			
100	108×6			±12,5% -15%	±1%	15,09	360	—	16	—	—	—	—	—	—	—	
	108×8					19,73		20	—	—	—	—	—	—	—	—	
	114×6					15,98		—	—	—	—	16	—	—	—	—	—
	114×7					18,47		16	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	114×8					20,91		—	—	16	—	—	16	—	—	—	—
	114×10					25,65		—	—	—	—	—	—	—	16	16	—
	114×12	30,19	—			—		—	—	—	—	—	16	16	—	—	
	133×11	33,10	—			—		25	—	—	—	—	—	—	—	—	
125	133×16	±12,5%	46,17	400	—	40	—	—	—	—	—	—	—				
	133×7	+12,5%	21,75		—	16	—	—	—	—	—	—	—				
	133×9	-15%	27,52		20	20	—	—	—	—	—	—	—				
150	168×16	±12,5%	59,98	500	—	—	—	—	—	16	16	—	—				
	168×9	±12,5% -15%	35,29		—	16	—	—	—	—	—	—	—				
	168×10		38,97		16	—	—	—	—	—	—	—	—				
	168×11		42,59		—	20	—	—	—	—	—	—	—				
	168×12		46,17		20	—	16	—	—	16	—	—	—				
	168×14		53,17		—	—	—	—	—	—	—	—	16	16			
	194×16	±12,5%	70,24		630	25	—	—	—	—	—	—	—	16			
194×18	78,13	—	—	—		—	—	—	16	16	—	—					
175	194×10	±12,5% -15%	45,38	630	—	16	—	—	—	16	—	—	—				
	194×12		53,86		16	20	—	—	—	—	—	—					
	194×14		62,15		20	—	16	—	—	16	—	—	16				
	219×16	±12,5%	80,10	630	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
	219×18		89,23		25	—	—	—	—	—	—	—	16				
	219×20		98,15		—	—	—	—	—	—	16	16	—	—			
	219×26		123,75		—	—	40	—	—	—	—	—	—	—			

Продолжение табл. 2.36

$D_y, \text{мм}$	$D_n \times s, \text{мм}$	Допускаемые отклонения (для труб обычной точности изготовления)		Масса $l, \text{кг}$	Минимальный радиус гн-ба*, мм (по ГОСТу 9940-61)	$r_y, \text{Мн/м}^2$								
						Для неагрессивных и малоагрессивных сред				Для агрессивных сред				
		по наружному диаметру	по толщине стенки			Для сталей марок								
						20	12Х1МФ	Х5М; Х5ВФ; Х18Н10Т	Х5М**	Х17Н13М2Т	20	Х5М; Х5ВФ	Х5М**	Х18Н10Т; Х17Н13М2Т
200	219×11	±1%	±12,5% -15%	56,43	630	-	16	-	-	16	-	-	-	-
	219×14			70,78		16	20	-	-	-	-	-	-	
	245×18	+12,5%	100,77	710	20	-	-	-	-	-	-	-	-	
	245×20		110,98	25	-	-	-	-	-	-	-	-		
	273×32		190,19	800	-	40	-	-	-	-	-	-		
225	245×14	+12,5% -15%	79,76	710	-	16	-	-	-	-	-	-	-	
	273×18		113,20	16	20	16	-	16	-	-	-	-		
	273×20	+12,5%	124,79	800	20	-	-	-	-	-	-	16	16	
	273×24		147,38		25	-	-	-	-	-	-	-	-	
	273×25		152,90		-	-	-	-	16	16	-	-	-	
250	273×14	+12,5% -15%	89,42	900	-	16	-	-	16	-	-	-	-	
	325×28		205,09		25	-	-	-	16	16	-	-		
	325×38	266,98	-	40	-	-	-	-	-	-	-			
300	325×16	±1,25%	121,93	900	-	16	-	-	16	-	-	-	-	
	325×20		150,44		16	20	-	-	-	-	-	-		
	325×22		164,39		20	-	16	-	16	-	16	-		
	377×32		272,26	25	-	-	-	-	16	16	-	-		
	377×45		368,44	1120	-	40	-	-	-	-	-	-		
350	377×18	±12,5%	159,36	1120	-	-	-	16	-	-	-	-	-	
	377×25		217,02		16	-	16	-	16	-	16	-		
	426×28		274,83		-	-	-	-	-	-	-	-		
400	426×35	±12,5%	337,49	1250	-	-	-	-	-	16	16	-	-	
	426×20		200,25		-	-	-	-	-	-	-	-		

Примечания:

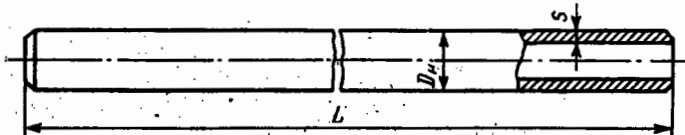
1. Допустимое рабочее давление для принятой ступени условного давления определяется по табл. 2.9 в зависимости от марки стали и температуры рабочей среды.
2. Сортовой труб из сталей марок 20, 12Х1МФ, Х5М и Х5ВФ размерами 16×2,5; 18×2,5; 18×3,5; 18×4,5 и 22×2,5 соответствует ГОСТу 8734-58, остальных труб - ГОСТу 8732-58. Сортовой труб из сталей марок Х18Н10Т и Х17Н13М2Т условных проходов до $D_y = 50 \text{ мм}$ включительно соответствует ГОСТу 9941-62, остальных труб - ГОСТу 9940-62.
3. В таблице приведены допускаемые отклонения по наружному диаметру и толщине стенки для труб из сталей марок 20, 12Х1МФ, Х5М и Х5ВФ. Допускаемые отклонения для труб из сталей марок Х18Н10Т и Х17Н13М2Т должны соответствовать нормам ГОСТов 9941-62 и 9940-62 (для труб обычной точности изготовления).

* По оси трубы.

** Сталь со специальной термической обработкой по режиму ЧМТУ/УкрНИТИ 539-63.

*** Для труб, отмеченных этим знаком, применяются фланцы на $r_y = 20 \text{ Мн/м}^2$ того же условного прохода, для труб из стали 12Х1МФ других размеров на $r_y = 16 \text{ Мн/м}^2$ применяются фланцы на $r_y = 20 \text{ Мн/м}^2$ ближайшего меньшего условного прохода. Фл нцы по ГОСТу 1260-54.

Рекомендуемый сортамент бесшовных труб для соединяемых сваркой встык трубопроводов
высокого давления химических производств на $p_y = 20 \div 100 \text{ Мн/м}^2$ [46]



D_n , мм	$D_n \times s$, мм	Допускаемые отклонения *		Масса 1 м, кг	p_y , Мн/м ² для сталей марок						
		по наружному диаметру	по толщине стенки		20	14ХГС	80ХМА; 18Х3МВ	20Х3МВФ	X18H10T; 0X17H16M3T		
6	11×2,5	±0,3 мм	±10%	0,53	—	—	—	—	32		
	12×3			0,67	32	—	40	50	—		
	15×4,5			1,17	—	64	80	100	—		
10	18×3,5			1,25	—	—	—	—	32		
	20×4,5			1,72	32	—	40	50	—		
15	25×7			±8%	3,10	—	64	80	100	—	
	25×4,5			±10%	2,27	—	—	—	—	32	
	25×5				2,46	32	—	40	50	—	
25	35×9			±0,4 мм	±8%	5,77	—	64	80	100	—
	35×5					±10%	3,70	20	—	25	32
	38×6	4,73	—			—	—	—	32		
	45×9	7,99	32			—	40	50	—		
	45×10	8,64	—			50	64	80	—		
32	50×12	±8%	±8%			11,24	—	64	80	100	—
	45×6					5,78	—	—	—	—	20
	45×6,5					6,18	20	—	25	32	—
	48×7,5					7,50	—	—	—	—	32
	50×9					9,10	32	—	40	50	—
40	57×12	±0,8%	±8%	13,32	—	50	64	80	—		
	68×16	±1,0%		+15% -8%	20,52	—	64	80	100	—	
	56×7	±0,8%		8,46	—	—	—	—	20		
	57×7			8,63	20	—	25	32	—		
	60×8,5	±1,0%		+15% -8%	10,80	—	—	—	—	32	
	68×12				16,57	32	—	40	50	—	
	68×14				18,64	—	50	64	80	—	
83×19	29,98		—		64	80	100	—			
60	76×9		14,87		20	—	25	32	20		
	83×14	23,82	32	—	40	50	32				
	102×20	40,45	—	50	64	80	—				
	102×22	43,41	—	64	80	100	—				

Продолжение табл. 2.37

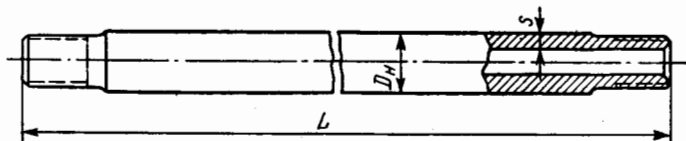
D_y , мм	$D_n \times s$, мм	Допускаемые отклонения *		Масса 1 м, кг	R_y , Мн/м ² для сталей марок				
		по наружному диаметру	по толщине стенки		20	14ХГС	30ХМА; 18ХЗМВ	20ХЗМВФ	Х18Н10Т; 0Х17Н16М3Т
70	89×11	±1,0%	+15% -8%	21,16	20	—	25	32	20
	102×16			33,94	32		40	50	32
	114×22			49,92	—	50	64	80	—
	127×28			68,36		64	80	100	
90	114×14			34,53	20	—	25	32	20
	127×18			48,38	32		40	50	32
	140×25			70,90	—	50	64	80	—
	159×36			109,20		64	80	100	
100	127×14			39,0	20	—	25	32	20
	140×20			59,19	32		40	50	32
	159×28			90,46	—	50	64	80	—
	180×40			138,11		64	80	100	
125	159×18			62,59	20	—	25	32	20
	180×28			104,96	32		40	50	32
	194×36			140,27	—	50	64	80	—
	219×48			202,42		64	80	100	
150	194×20	85,82	20	—	25	32	20		
	219×32	147,58	32		40	50	32		
	245×45	221,96	—	50	64	80	—		
	273×60	315,17		64	80	100			
200	245×25	135,64	20	—	25	32	20		
	273×38	220,23	32		40	50	—		
	299×50	307,03	—		50	64		80	

Примечания:

1. Допустимое рабочее давление для принятой ступени условного давления определяется по табл. 2.9 в зависимости от марки стали и температуры рабочей среды.
2. Сортамент труб из сталей марок 20, 14ХГС, 30ХМА, 18ХЗМВ и 20ХЗМВФ соответствует ЧМТУ/УкрНИТИ 518—63. Сортамент труб из сталей марок Х18Н10Т и 0Х17Н16М3Т соответствует ГОСТам 9940—62 и 9941—62.
3. Длина L поставляемых труб должна быть не менее 4,5 м.

* В таблице приведены допускаемые отклонения по наружному диаметру и толщине стенки для труб из сталей марок 20, 14ХГС, 30ХМА, 18ХЗМВ и 20ХЗМВФ. Допускаемые отклонения для труб из сталей марок Х18Н10Т и 0Х17Н16М3Т должны соответствовать нормам ГОСТов 9940—62 и 9941—62 (для труб обычной точности изготовления).

Рекомендуемый сортament бесшовных труб для соединяемых на резьбовых фланцах трубопроводов высокого давления химических производств на $p_y = 20 \div 100 \text{ Мн/м}^2$ [46]



$D_y, \text{ мм}$	$D_H \times s, \text{ мм}$	Допускаемые отклонения* (обычная точность изготовления)		Масса 1 м, кг	$p_y, \text{ Мн/м}^2$ для сталей марок													
		по наружному диаметру	по толщине стенки		20	14ХГС	30ХМА; 18Х3МБ	20Х3МВФ	X18H10T; 0X17H16M3T									
6	15×4,5	±0,3 мм	±10%	1,17	32	64	80	100	32									
10	25×7			3,10	32	64	80	100	32									
15	35×9	±0,4 мм	±8%	5,77	—	64	80	100	—									
25	43×10			8,14	32	—	—	—	—	32								
	45×9			7,99							40	50	—					
	45×10			8,64							50	64		80				
32	50×12			11,24	—	—	—	64	80	100	—							
	51×10	±0,8%	10,11	—								—	—	32				
	50×9	±0,4 мм	9,10												32	40	50	
	57×12	±0,8%	13,32	—								—	50	64	80	—		
68×16	±1,0%	+15% -8%	20,52		—	—	64	80	100									
40			68×13	17,63						32	—	—	—	—	32			
			68×12	16,57												40	50	
			68×14	18,64												50	64	80
			83×19	29,97												64	80	100
60	83×14	±1,0%	+15% -8%	23,82	32	—	40	50	32									
	102×20	40,45		—	—	50	64	80	—									
	102×22	43,41								64	80	100						
70	102×16	33,94	32	—	—	40	50	32										
	114×22	49,92	—	—	50	64	80	—										
	127×28	68,36							64	80	100							

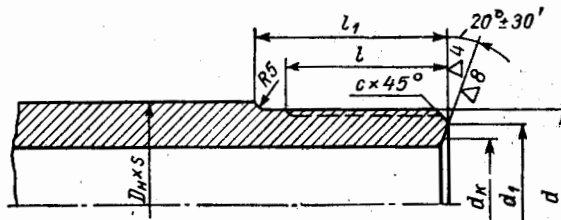
$D_y, \text{мм}$	$D_n \times s, \text{мм}$	Допускаемые отклонения* (обычная точность изготовления)		Масса 1 м, кг	$R_y, \text{Мн/м}^2$ для сталей марок				
		по наружному диаметру	по толщине стенки		20	14ХГС	30ХМА; 18ХЗМБ	20ХЗМВФ	X18H10T; 0X17H16M3T
90	114×14	±1,0%	+15% -8%	34,53	20	—	25	32	20
	127×18			48,38	32		40	50	32
	140×25			70,90	—	50	64	80	—
	159×36			109,20	—	64	80	100	
100	127×14			39,01	20	—	25	32	20
	140×20			59,19	32		40	50	32
	159×28			90,46	—	50	64	80	—
	180×40			138,11	—	64	80	100	
125	159×18			62,59	20	—	25	32	20
	180×28			104,96	32		40	50	32
	194×36			140,27	—	50	64	80	—
	219×48			202,42	—	64	80	100	
150	194×20			85,82	20	—	25	32	20
	219×32			147,58	32		40	50	32
	245×45			221,96	—	50	64	80	—
	273×60			315,17	—	64	80	100	
200	245×25	135,64	20	—	25	32	20		
	273×38	220,23	32		40	50	—		
	299×50	307,03	—		50	64		80	

Примечания:

1. Допустимое рабочее давление для принятой ступени условного давления определяется по табл. 2.9 в зависимости от марки стали и температуры рабочей среды.
2. Сортамент труб из сталей марок 20, 14ХГС, 30ХМА, 18ХЗМБ и 20ХЗМВФ соответствует ЧМТУ/Укр НИТИ 518—63. Сортамент труб из сталей марок X18H10T и 0X17H16M3T соответствует ГОСТам 9940—62 и 9941—62.
3. Длина L поставляемых труб должна быть не менее 4,5 м.

* В таблице приведены допускаемые отклонения по наружному диаметру и толщине стенки для труб из сталей марок 20, 14ХГС, 18ХЗМБ, 30ХМА и 20ХЗМВФ. Допускаемые отклонения для труб из сталей марок X18H10T и 0X17H16M3T должны соответствовать нормам ГОСТов 9940—62 и 9941—62 (для труб обычной точности изготовления).

Присоединительные резьбовые концы под линзовые уплотнения для трубопроводов
высокого давления на $p_y = 20 \div 100 \text{ Мн/м}^2$ (по ГОСТу 9400—63)



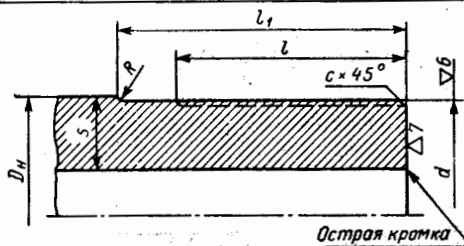
$D_N \times s,$ мм	Концы присоединительные для труб						$D_N \times s,$ мм	Концы присоединительные для труб					
	d	d_1	d_K^*	l_1	l	c		d	d_1	d_K^*	l_1	l	c
15×4,5	M14×1,5	10	8,2	32	22	1	114×22	M110×3	95	78,7	80	70	2
25×7	M24×2	18	13,7		28	1,5	127×14	M125×4	115	109,4	85	75	
35×9	M33×2	28	20,5	42	35		127×18		95	78,7			
43×10	M42×2	37	30,8				127×28		125	109,4				95	85
45×9							140×20	115		95,7			
45×10							140×25	115		95,7			
50×9	M48×2	43	41				45	40	159×18	145	136,8	100	90
50×12		40	30,8	159×28	132				109,4				
51×10		43	41	159×36	120				95,7				
57×12	M56×3	48	49,9	60	50		180×28	M175×6	162	136,8	115	105	
68×12	M64×3	55					180×40		132	109,4			
68×13						194×20	175	166,2	120	110			
68×14						194×36	162	136,8					
68×16						41	219×32	195	166,2	130	120		
83×14	M80×3	72	67	219×48	165	136,8							
83×19		65	49,9	65	55	245×25	225	212	140	130			
102×16	M100×3	90	78,7	75	65	245×45	195	166,2					
102×20		82	67			273×38	245	212	165	155			
102×22		273×60	195			166,2							
114×14	M110×3	100	95,7	80	70	299×50	M295×6	245	212				

Примечание. Приведенные в таблице размеры присоединительных концов распространяются также на соединительные части трубопроводов и на арматуру.

* Диаметр касания с линзой (теоретический справочный размер).

Таблица 2.40

Рекомендуемый сортамент бесшовных труб для соединяемых на резьбовых муфтах и фланцах трубопроводов высокого давления на $p_y = 250 \text{ Мн/м}^2$ для производства полиэтилена (по данным Иркутского НИИхиммаша)



$D_y, \text{ мм}$	$D_n \times s, \text{ мм}$	Допускаемые отклонения, мм		Масса 1 м, кг	Концы присоединительные для труб, мм				
		по наружному диаметру	по внутреннему диаметру		d	l	l_1	c	R
3	12×4,5	-0,2	±0,15	0,83	M10×1	20	30	0,5	1,0
6	17×5,5	-0,4	±0,25	1,55	M16×1,5	30	40		1,5
10	28×9	-0,5	±0,5	4,20	M27×2	40	50	1,0	2,0
15	40×12,5		±0,75	8,40	M39×2	45	55		
25	63×19	-0,8	±0,9	20,5	M60×3	60	75	1,5	2,5
32	79×23,5	-1,0	±1,0	32,0	M76×3	70	85		
40	98×29	-1,5		49,0	M95×3	85	100		

Примечания:

1. Материал труб — сталь марки 20Х3МВФ по ГОСТу 10500—63 и сталь марки 1Х12В2МФ по ГОСТу 5632—61.
2. Сортамент труб и технические требования на их поставку находятся в стадии согласования с УралНИТИ.

Таблица 2.41

Рекомендуемый сортамент бесшовных биметаллических труб по ГОСТу 10192—62 с наружным слоем из стали 20 и внутренним слоем из меди марки МЗр

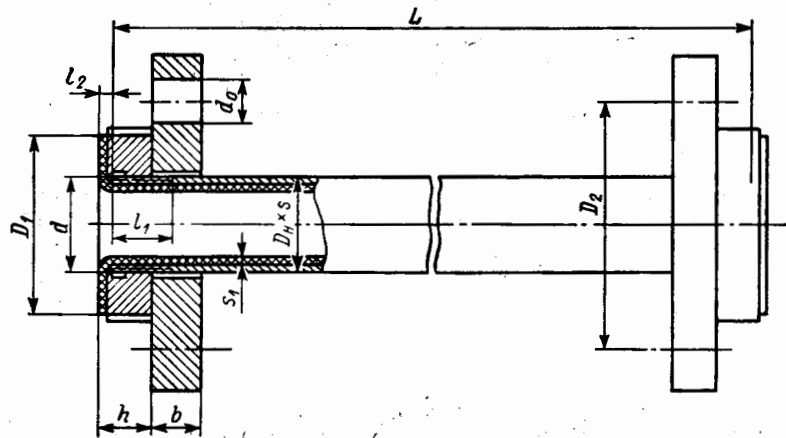
$D_y, \text{ мм}$	$D_n \times s, \text{ мм}$	Толщина плакирующего слоя*, мм	Допускаемые отклонения		Масса 1 м, кг	$D_y, \text{ мм}$	$D_n \times s, \text{ мм}$	Толщина плакирующего слоя*, мм	Допускаемые отклонения		Масса 1 м, кг
			по наружному диаметру	по толщине стенки					по наружному диаметру	по толщине стенки	
10	14×2	0,4—1,1	±0,3 мм	±10%	0,617	40	45×2,5	0,5—1,3	±0,8%	±10%	2,75
	14×2,5	0,4—1,3			0,742		55×2,5				3,41
15	18×2	0,4—1,1			0,823	50	(60×3,5)	5,08			
	18×3	0,4—1,4			1,16		(60×5)	6,96			
20	25×2,5	0,5—1,3			1,46	80	(90×5)	10,76			
	25×3	0,5—1,4			1,70		100	(110×5)			13,29
32×3	2,25		125	(135×5)	16,48						
32×3,5	2,55		150	(160×5)	19,63						
32	38×2,5	0,5—1,3	2,30	175	(185×5)	22,83					
	38×3,5	0,5—1,4	3,10		200	(210×5)	26,01				

Примечания:

1. Трубы по длине поставляются немерной длины (от 1,5 до 9 м). Поставка труб мерной или кратной длины (до 7 м) производится по требованию заказчика, согласованному с заводами-изготовителями труб.
2. Трубы, размеры которых указаны в скобках, впредь до освоения их массового производства, заказываются по согласованным техническим условиям.

* Толщина плакирующего слоя входит в общую толщину стенки.

Рекомендуемый сортамент стальных труб, футерованных винипластом или полиэтиленом
(по ГОСТу 10762—64)



D_y , мм	$D_H \times s$, мм	s_1 , мм	Концы присоединительные для труб, мм								Теоретическая масса * 1 м труб, футерованных			
			d	D_1	D_2	l_1	l_2	h	b	d_0	Количество отверстий	полиэтиленом		
												винипластом	низкой плотности	высокой плотности
40	45×2	2,0	M45×1,5	78	110	22	5	22	20	18	4	2,43	2,33	2,33
50	57×3		M56×2	90	125	24		24				4,43	4,28	4,29
80	88,5×4	3,0	Труба 3"	122	160	28	7,5	31	24	8	8	9,36	9,01	9,03
100	114×4		Труба 4"	140	180	32	9	35	26			12,20	11,74	11,76
125	140×4,5	4,0	Труба 5"	168	210	34	10	38	28	23	8	17,27	16,51	16,55
150	165×4,5	4,5	Труба 6"	192	240		12,5	40,5				20,47	19,56	19,61

Примечания:

1. Трубы поставляются длиной $L = 1 \pm 8$ м.
2. По нормалам машиностроения МН 5030—63 — МН 5053—63 [54] предусматривается выпуск деталей трубопроводов, футерованных полиэтиленом и винипластом (отводы фланцевые с углом 90°, 45° и 30°, тройники равнопроходные и переходные фланцевые, переходы концентрические, втулки буртовые, муфты соединительные, фланцы свободные и полуфланцы на соответствующие условные давления и проходы).

* Без учета массы комплектующих деталей (резьбового кольца и свободного фланца).

ГЛАВА 3

ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

3.1. ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ, ПРЕИМУЩЕСТВЕННО ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ХИМИЧЕСКОМ АППАРАТОСТРОЕНИИ

Цветные металлы и сплавы (алюминий и его сплавы, медь и ее сплавы, никель и его сплавы, титан и его сплавы, свинец и др.) нашли широкое применение в химическом аппаратостроении, преимущественно для сварной, паяной и литой аппаратуры, предназначенной для работы в средах средней и повышенной агрессивности. Алюминий и его сплавы, медь и латунь являются также основными конструкционными материалами для емкостной, колонной и теплообменной аппаратуры газоразделительных уста-

новок, работающих при низких температурах (до -254°C).

В табл. 3.1 приводятся рекомендации по выбору марок цветных металлов и сплавов для сварной и паяной химической аппаратуры; в табл. 3.2 — для литых деталей химических аппаратов; в табл. 3.3 приводятся качественная и механо-технологическая характеристики и дается общая оценка коррозионной стойкости цветных металлов и сплавов, нашедших преимущественное применение в химическом аппаратостроении.

Таблица 3.1

Цветные металлы и сплавы, рекомендуемые для сварной и паяной химической аппаратуры и для трубопроводов химических производств (по ОН 26-02-7—66, 26-02-9—66, 26-02-10—66, 9-357—62 и [49, 50, 51])

Металлы и сплавы	Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
			$t_{\text{ст}}, ^{\circ}\text{C}$	$R_p, \text{МПа}$, не более		
Алюминий высокой чистоты	A995; A99; A97; A95 (ГОСТ 11069—64)	Листы (спецаказ по согласованному ТУ)	От -196 до $+150$	0,6	<p>Определение химического состава по ГОСТам 12697—67—12706—67 поплавоочно.</p> <p>Испытание на растяжение (с определением σ_b и δ) по ГОСТу 1497—61 от партии проката</p>	Обечайки, днища и детали внутренних устройств сварной емкостной и колонной химической аппаратуры, предназначенной для работы со средами средней и повышенной агрессивности
Алюминий технической чистоты	A85; A8 (ГОСТ 11069—64)					
	A7; A6; A5; A0; A (ГОСТ 11069—64)	Листы (ГОСТ 7869—56)				
Сплавы алюминиевые деформируемые	AD00; AD0; AD1; AD (ГОСТ 4784—65)	Листы (ГОСТ 7869—56)			<p>Определение химического состава по ГОСТам 11739—66—11760—66 поплавоочно.</p> <p>Испытание на растяжение (с определением σ_b и δ) по ГОСТу 1497—61 от партии проката</p>	Обечайки, днища, трубные решетки и другие детали сварной емкостной, колонной и теплообменной химической аппаратуры, предназначенной для работы со средами пониженной и средней агрессивности
		Листы (ГОСТ 12592—67)				
		Плиты (АМТУ 347—61 с изм. № 1, 2, 3)				
		Прутки (ГОСТ 4783—49)				

Металлы и сплавы	Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
			$t_{\text{ем}}, ^\circ\text{C}$	$R_p, \text{МПа}$, не более		
Сплавы алюминиевые деформируемые	АД00; АД0; АД1; АД (ГОСТ 4784—65)	Трубы катаные и тянутые (ГОСТ 4773—65)	От —196 до +150	0,6	На растяжение (с определением σ_s и δ) по ГОСТам 10006—62 и 4773—65 от партии проката. На продольное сжатие по ГОСТу 4773—65 по требованию чертежа	Трубные пучки и патрубки аппаратов того же назначения; трубопроводы химических производств
	АД0; АД1; АД (ГОСТ 4784—65)	Трубы прессованные (ГОСТ 11535—65)			По ГОСТу 11535—65 от партии проката	Патрубки аппаратов того же назначения; трубопроводы химических производств
	АМц (ГОСТ 4784—65)	Листы горячекатаные (без термообработки) отожженные (ГОСТ 12592—67)	От —196 до +120	0,25	На растяжение (с определением σ_s и δ) по ГОСТу 1497—61 от партии проката	Сварные трубы (по МН 1100—60); отводы с углом поворота 30° (МН1105—60), 45° (МН1106—60), 60° (МН 1107—60), 90° (МН 1108—60 и 1109—60) $D_y = 100 + 1000 \text{ мм}$; отводы продольносварные с углом поворота 90° (по МН 1110—60) $D_y = 100 + 500 \text{ мм}$; переходы сварные $D_y = 100 + 1000 \text{ мм}$ — для трубопроводов химических производств, предназначенных для работы с неагрессивными средами (воздух, кислород, азот и др.)
	АМц (ГОСТ 4784—65)	Листы (ГОСТ 12592—67) Прутки (ГОСТ 4783—49) Плиты (АМТУ 347—61)	От —196 до +150	0,6	Определение химического состава по ГОСТам 11739—66—11760—66 поплавно. Испытание на растяжение (с определением σ_s и δ) по ГОСТу 1497—61 от партии проката По АМТУ 347—61 от партии проката	Обечайки, днища, трубные решетки и другие детали сварной емкостной, колонной и теплообменной аппаратуры, предназначенной для работы со средами пониженной агрессивности. Сварная емкостная аппаратура для хранения и перевозки жидких кислорода, азота и других газов

Металлы и сплавы	Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение			
			$t_{ст}, ^\circ C$	$R_p, \text{Мн/мм}^2$, не более					
Сплавы алюминиевые деформируемые	АМцС (ГОСТ 4784—65)	Трубы катаные и тянутые (ГОСТ 4773—65)	От -196 до +150	0,6	На растяжение (с определением σ_s и δ) по ГОСТам 10006—62 и 4773—65 от партии проката. На продольное сжатие по ГОСТу 4773—65 (по требованию чертежа)	Трубные пучки и патрубки аппаратов того же назначения; трубопроводы химических производств			
		Трубы прессованные (ГОСТ 11535—65)			По ГОСТу 11535—65 от партии проката	Патрубки аппаратов того же назначения; трубопроводы химических производств			
	АМг2 (ГОСТ 4784—65)	Листы (ГОСТ 12592—67)		От -196 до +150	1,6	По ГОСТу 12592—67 от партии проката	Ходовые перегородки трубных пучков теплообменных аппаратов		
		Трубы катаные и тянутые (ГОСТ 4773—65)				На растяжение (с определением σ_s и δ) по ГОСТам 10006—62 и 4773—65 от партии проката. На продольное сжатие по ГОСТу 4773—65 (по требованию чертежа)	Трубные пучки для нормализованных холодильников и конденсаторов с плавающей головкой по ОН 26-02-10—66 и 26-02-9—66, нормализованных кожухотрубных теплообменников с U-образными трубами по ОН 26-02-7—66 и ненормализованной теплообменной аппаратуры		
	АМг5 (ГОСТ 4784—65)	Листы (ГОСТ 12592—67)			От 0 до +150	1,6	На растяжение (с определением σ_s , σ_T и δ) по ГОСТу 1497—61 от партии проката	Трубные решетки нормализованных холодильников и конденсаторов с плавающей головкой по ОН 26-02-10—66 и 26-02-9—66, нормализованных кожухотрубных теплообменников с U-образными трубами по ОН 26-02-7—66 и ненормализованной теплообменной аппаратуры; фланцы и бурты приварные аппаратов и трубопроводов химических производств	
		Прутки (АМТУ 424—58)					По АМТУ 347—61 от партии проката	Фланцы свободные аппаратов и трубопроводов химических производств	
		Плиты (АМТУ 347—61)					На растяжение (с определением σ_s , σ_T и δ) по ГОСТу 1497—61 от партии проката	Крепежные детали аппаратов и трубопроводов (болты, шпильки, гайки)	
	Д1; Д16 (ГОСТ 4784—65)	Прутки (ГОСТ 4783—49)				От 0 до +150	1,6	По АМТУ 347—61 от партии проката	Фланцы свободные аппаратов и трубопроводов химических производств
								На растяжение (с определением σ_s , σ_T и δ) по ГОСТу 1497—61 от партии проката	Крепежные детали аппаратов и трубопроводов (болты, шпильки, гайки)

Металлы и сплавы	Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
			$t_{ст}$, °C	R_p , Мн/м ² , не более		
Медь техническая	М1; М2; М3 (ГОСТ 859—66)	Листы (ГОСТ 495—50)	От -254 до +250	0,6	На растяжение (с определением σ_s и δ) по ГОСТу 1497—61 от партии проката	Обечайки, днища, ходовые перегородки и другие детали паяной емкостной, колонной и теплообменной аппаратуры установок разделения воздуха и других газов методом глубокого охлаждения и химической аппаратуры для сред средней агрессивности
		Доски (ЦМТУ 08-80—68)			По ЦМТУ 08-80—68 от партии проката	
		Прутки (ГОСТ 1535—48)			По ГОСТу 1535—48 от партии проката	
		Трубы тянутые, холоднокатаные и прессованные (ГОСТ 617—64)			На растяжение (с определением σ_s и δ) по ГОСТу 10006—62, на сплющивание по ГОСТу 8695—58 и на бортование по ГОСТу 8693—58 от партии проката		Трубные пучки и патрубков аппаратов того же назначения; трубопроводы химических производств
Медь бескислородная	М3р (ГОСТ 859—66)	Листы (ЦМТУ 08-70—67)	От -254 до +250	0,6	На растяжение (с определением σ_s и δ) по ГОСТу 1497—61 от партии проката	Обечайки, днища, ходовые перегородки и другие детали внутренних устройств сварной нормализованной колонной и теплообменной аппаратуры по МН 2177—61 и 2178—61 и сварной ненормализованной аппаратуры для сред средней агрессивности
		Доски (ЦМТУ 08-80—68)			По ЦМТУ 08-80—68 от партии проката	
		Прутки (ГОСТ 10988—64)			По ГОСТу 10988—64 от партии проката	
		Трубы тянутые, холоднокатаные и прессованные (ГОСТ 617—64)			На растяжение (с определением σ_s и δ) по ГОСТу 10006—62, на сплющивание по ГОСТу 8695—58 и на бортование по ГОСТу 8693—58 от партии проката		Трубные пучки и патрубков аппаратов того же назначения; трубопроводы химических производств

Продолжение табл. 3.1

Металлы и сплавы	Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
			$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	$R_p, \text{МПа/М}^2$, не более		
Медь бескислородная	МЗр (ГОСТ 859—66)	Листы (ЦМТУ 08.70—67)	От -196 до +120	0,6	На растяжение (с определением σ_s и δ) по ГОСТу 1497—61 от партии проката	Сварные трубы (по МН 1138—60); отводы с углом поворота 30° (по МН 1142—60 и 1150—60), 45° (по МН 1143—60 и 1151—60), 60° (по МН 1144—60 и 1152—60) и 90° (по МН 1145—60 и 1153—60) $D_y=400\div 500$ мм; переходы сварные (по МН 1146—60 и 1158—60) $D_y=100\div 500$ мм; боршайбы по 1162—60 $D_y=100\div 500$ мм и по МН 1163—60 $D_y=20\div 80$ мм для трубопроводов химических производств для агрессивных сред (органические кислоты и др.)
		Трубы тянутые и холоднокатанные (ГОСТ 617—64)				На растяжение (с определением σ_s и δ) по ГОСТу 1497—61 от партии проката

Металлы и сплавы	Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
			$t_{ст}, ^\circ C$	$R_p, \text{Мн/мм}^2$, не более		
Латунь	Л62 (ГОСТ 1019-47)	Листы (ГОСТ 931-52)	От -196 до +120	0,6	На растяжение (с определением σ_s и δ) по ГОСТу 1497-61 и на загиб на 180° вокруг оправки с радиусом закругления, равным толщине листа, от партии проката	Обечайки, днища и детали внутренних устройств колонной сварной и паяной аппаратуры установок разделения воздуха и других газов методом глубокого охлаждения; трубы сварные (по МН 1113-60), отводы сварные с углом поворота 30° (по МН 1116-60), 60° (по МН 1117-60), 45° (по МН 1120-60) и 90° (по МН 1121-60 и 1122-60), переходы сварные (по МН 1124-60) $D_y=100 \div \pm 1000 \text{ мм}$; отводы продольносварные с углом поворота 90° (по МН 1123-60) $D_y=100 \div \pm 500 \text{ мм}$ —для трубопроводов для неагрессивных сред (воздух, кислород, азот и др.)
		Прутки (ГОСТ 2060-60)				Детали внутренних устройств химической аппаратуры для сред средней агрессивности
		Поковки и штамповки, гр. III (ОН 9-357-62*)				Переходы (по МН 1126-60) $D_y=10 \div 50 \text{ мм}$ для трубопроводов для неагрессивных сред (воздух, кислород, азот и др.)
		Трубы тянутые и пресованные (ГОСТ 494-52)				Трубопроводы и отводы гнутые из труб (по МН 1125-60) $D_y=10 \div \pm 50 \text{ мм}$ для неагрессивных сред (воздух, кислород, азот и др.)
	ЛС 59-1 (ГОСТ 1019-47)	Прутки (ГОСТ 2060-60)		20	На растяжение (с определением σ_s и δ) по ГОСТу 1497-61, на сплющивание по ГОСТу 494-52 от партии проката	На растяжение (с определением σ_s и δ) по ГОСТу 1497-61 от партии проката	Штуцера (по МН 1131-60) и nipples (по МН 1132-60) $D_y=4 \div \pm 10 \text{ мм}$ для трубопроводов для неагрессивных сред (воздух, кислород, азот и др.)

* Отраслевая норма Министерства судостроительной промышленности.

Продолжение табл. 3.1

Металлы и сплавы	Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
			$t_{ст}, ^\circ C$	$R_p, \text{Мк/М}^2$, не более		
Латунь	ЛЖМц 59-1-1 (ГОСТ 1019-47)	Доски (МПТУ 4420-54)	От -254 до +250	20	На растяжение (с определением $\sigma_s, \sigma_{0,2}$ и δ) по ГОСТу 1497-61 от партии проката	Трубные решетки, фланцы, бурты и другие детали теплообменной и колонной аппаратуры установок глубокого охлаждения
		Прутки (ГОСТ 2060-60)			На растяжение (с определением $\sigma_s, \sigma_{0,2}$ и δ) по ГОСТу 1497-61 от партии проката	Крепежные детали фланцевых соединений аппаратов и трубопроводов; детали внутренних устройств аппаратов
		Поковки и штамповки, гр. III (ОН 9-357-62)	От -196 до +120		На растяжение (с определением $\sigma_s, \sigma_{0,2}$ и δ) по ОН 9-357-62 от партии поковок и штамповок. Определение химического состава поплавно	Тройники прямые (по МН 1127-60), переходные (по МН 1128-60) и с двумя переходами (по МН 1129-60) $D_y = 10 \div +50 \text{ мм}$ — для трубопроводов для неагрессивных сред (воздух, кислород, азот и др.). Фланцы, крышки плавающих головок теплообменных аппаратов и другие детали аппаратов ответственного назначения
	ЛОМш 70-1-0,06 (ГОСТ 1019-47 с изм. № 3)	Трубы тянутые (ГОСТ 494-52 с изм. № 3)	До +400	6,4	На растяжение (с определением σ_s и δ) по ГОСТу 1497-61, на сплющивание по ГОСТу 494-52 от партии проката	Трубные пучки нормализованных кожухотрубных холодильников и конденсаторов с плавающей головкой по ОН 26-02-10-66 и 26-02-9-66, работающих на пресной воде
	ЛАМш 77-2-0,06 (ГОСТ 1019-47 с изм. № 3)	Трубные пучки той же аппаратуры, работающей на морской воде				
	Бронза	Бр.АМц 9-2; Бр.АЖ9-4; Бр.АЖН 10-4-4 (ГОСТ 493-54)	Прутки (ГОСТ 1628-60)	От -196 до +400	4	На растяжение (с определением σ_s и δ) по ГОСТу 1497-61 и на твердость по Бринеллю по ГОСТу 9012-59 от партии проката	Детали внутренних устройств химической аппаратуры для сред средней и повышенной агрессивности

Металлы и сплавы	Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
			$t_{ст}, ^\circ C$	$R_p, \text{ МПа}$, не более		
Никель	НП2 (ГОСТ 492—52)	Листы горячекатаные (ГОСТ 6235—52)	От —196 до +500	1	На растяжение (с определением σ_s, σ_T и δ) по ГОСТу 6235—52 от партии проката	Обечайки, днища и другие детали емкостной, колонной и теплообменной химической аппаратуры для сред высокой агрессивности
		Плиты (ТУ ЦМО 55—64 и 57—65)			На растяжение (с определением σ_s, σ_T и δ) по ТУ ЦМО 55—64 и 57—65 от партии проката	Трубные решетки теплообменных аппаратов того же назначения
	НП2; НП3 (ГОСТ 492—52)	Прутки (ГОСТ 13083—67)			На растяжение (с определением σ_s, σ_T и δ) по ГОСТу 13083—67 от партии проката	Детали внутренних устройств химической аппаратуры того же назначения
	НП3 (ГОСТ 492—52)	Трубы (ТУ ЦМО 4—57)			По ТУ ЦМО 4—57 от партии проката	Трубные пучки и патрубков аппаратов того же назначения; трубопроводы химических производств
Монель	НМЖМц 28—2,5—1,5 (ГОСТ 492—52)	Прутки (ГОСТ 1525—53)	От —196 до +600	1,6	На растяжение (с определением σ_s и δ) по ГОСТу 1497—61 от партии проката. Определение химического состава по ГОСТу 6689—53 поплавно	Шпильки плавающих головок нормализованной теплообменной аппаратуры по ОН 26-02-10—66 и 26-02-9—66; валы перемешивающих устройств и другие детали аппаратов для сред высокой агрессивности
Свинец технический	С1; С2 С3; С4 (ГОСТ 3778—65)	Листы (ГОСТ 9559—60)	От —40 до +100	—	По ГОСТу 9559—60 от партии листов	Кислотостойкая футеровка сварной емкостной аппаратуры из углеродистой стали
		Роли (ГОСТ 89—41)			По ГОСТу 89—41 от партии ролей	
		Трубы (ГОСТ 167—41)			По ГОСТу 167—41 от партии труб	
Свинец сурьмянистый	ССу1; ССу2; ССу3 (ГОСТ 1292—67)	—			По ГОСТу 1292—67	

Металлы и сплавы	Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
			$t_{\text{см}}, ^\circ\text{C}$	$R_p, \text{Мн/мм}^2$, не более		
Титан технический	BT1-00; BT1-0; (AMTU 388—68)	Листы (AMTU 475—67 и СТУ 174.4—65)	Титан BT1-00 и BT1-0 От —40 до +150	10	На растяжение (с определением σ_s и δ) на загиб по AMTU 475—67 от партии проката (для толщин $\leq 10 \text{ мм}$) и по СТУ 174.4—65 (для толщин $> 10 \text{ мм}$)	Обечайки, днища, трубные решетки и другие детали химической аппаратуры для сред высокой агрессивности
Титановые сплавы	OT4; OT4-0; OT4-1; OT4-2; BT4; BT5-1 (AMTU 388—68)					
Титан технический	BT1-1 (AMTU 388—68)	Прутки круглые катаные (AMTU 451—67)	Титановые сплавы OT4-0; OT4; OT4-1; BT4 От —40 до +400 Титановые сплавы BT5; BT5-1 От —40 до +450	10	На растяжение (с определением σ_s и δ) и на ударную вязкость по AMTU 451—59 от партии проката	
Титановые сплавы	OT4; OT4-1; BT3-1; BT4; BT5; BT5-1 (AMTU 388—68)					
Титан технический	BT1-1 (AMTU 388—68)	Прутки круглые и квадратные прессованные (AMTU 487—62)		10	На растяжение (с определением σ_s и δ) и на ударную вязкость по AMTU 487—62 от партии проката	Валы, оси, крепежные детали, фланцы воротниковых штуцеров аппаратов и трубопроводов и другие детали аппаратов того же назначения
Титановые сплавы	OT4; OT4-1; BT3; BT4; BT5; BT5-1 (AMTU 388—68)					
Титан технический	BT1-00; BT1-0 (AMTU 388—68)	Прутки круглые и квадратные кованые (AMTU 534—67)		10	На растяжение (с определением σ_s и δ) и на ударную вязкость по AMTU 534—67 от партии проката	
Титановые сплавы	OT4; OT4-0; OT4-1; OT4-2; BT3-1; BT4; BT5; BT5-1; (AMTU 388—68)					

Металлы и сплавы	Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
			$t_{ст}, ^\circ C$	$\rho, \text{Мн/м}^3$, не более		
Титан технический	BT1-00; BT1-0 (AMТУ 388—68)	Трубы (AMТУ 386—65)	Титан BT1-00; BT1-0 От —40 до +150	10	На растяжение (с определением σ_s и δ) и на ударную вязкость по AMТУ 386—65 от партии проката	Трубные пучки, змеевики, патрубки аппаратов того же назначения; трубопроводы химических производств
Титановые сплавы	OT4; OT4-0; OT4-1 (AMТУ 388—68)					
Титан технический	BT1-1 (AMТУ 388—68)	Штамповки и поковки (AMТУ 368—62)	Титановые сплавы OT4-0; OT4; OT4-1; BT4 От —40 до +400	10	На растяжение (с определением σ_s и δ) и на ударную вязкость по AMТУ 368—62 от партии поковок или штамповок	Фланцы воротниковые штуцеров и трубопроводов и другие детали аппаратов и трубопроводов химических производств
Титановые сплавы	OT4; OT4-0; OT4-1; BT3-1; BT4; BT5; BT5-1 (AMТУ 388—68)					
Титан технический	BT1-0; BT1-1 (AMТУ 388—68)	Поковки и кованные прутки сечением 100—250 мм (СТУ 252-10—65)			На растяжение (с определением σ_s и δ) и на ударную вязкость по СТУ 252-10—65 от партии поковок	Фланцы воротниковые аппаратов, трубные решетки и другие крупногабаритные детали аппаратов того же назначения
Титановые сплавы	OT4; OT4-0; OT4-1; BT3-1; BT4; BT5; BT5-1 (AMТУ 388—68)					

Таблица 3.2

Цветные металлы и сплавы, рекомендуемые для литых деталей химической аппаратуры

Металлы и сплавы	Марка (ГОСТ, ТУ)	Полуфабрикаты (ГОСТ, ТУ)	Условия применения		Виды испытаний материала	Примерное назначение
			$t_{ст}$, °C	R_p , МПа, не более		
Алюминиевый сплав	АЛ4 (ГОСТ 2685—63)	Фасонное литье (ГОСТ 2685—63)	От -196 до +150	1,6	<p>Определение химического состава по ГОСТу 2788—51 или по ГОСТу 7727—60 поплавочно.</p> <p>Испытание на растяжение (с определением σ_v и δ) по ГОСТу 1497—61 на образцах, прилитых к изделию или отлитых одновременно с ним</p>	Фасонные крупногабаритные отливки сложной формы (крышки, детали корпуса и внутренних устройств аппаратов), несущие высокие механические нагрузки
Латунь	ЛС59—1Л (ГОСТ 1019—47)	Отливки по согласованным ТУ	От -196 до +120	20	<p>Определение химического состава поплавочно.</p> <p>Испытание на растяжение (с определением σ_v и δ) по ГОСТу 1497—61 на образцах, прилитых к изделию или отлитых одновременно с ним</p>	Гайки накидные (по МН 1133—60) для трубопроводов $D_v=4 \div 10$ мм для неагрессивных сред (воздух, кислород, азот и др.)
	ЛЖМц 59-1-1 (ГОСТ 1019—47)	Отливки гр. III (ТУ НКО 507—63) *	От -254 до +250			Нагруженные детали внутренних устройств химической аппаратуры для сред средней агрессивности; фланцы и другие детали аппаратов и трубопроводов химических производств
	ЛАЖМц 66-6-3-2 (ГОСТ 1019—47)		До +400	6,4		Крышки плавающих головок нормализованной теплообменной аппаратуры по ОН 26-02-10—66 и 26-02-9—66
Бронза	Бр. АМц 9-2Л; Бр. АЖ 9-4Л; Бр. АЖН 10-4-4Л (ГОСТ 493—54)	Отливки (ГОСТ 493—54)	От -196 до +250	4	Корпуса, крышки и другие литые детали сложной конфигурации емкостной, колонной и теплообменной химической аппаратуры для сред средней и повышенной агрессивности	

* Отраслевая норма Министерства химического и нефтяного машиностроения СССР, М., ВНИИкимаш, 1968.

Качественная характеристика, механо-технологические свойства и общая оценка коррозионной стойкости в агрессивных средах цветных металлов и сплавов, применяемых в химическом аппаратостроении [27, 59, 91, 92, 107]

Марка (ГОСТ, ТУ)	Качественная характеристика	Механо-технологические свойства	Общая оценка коррозионной стойкости в агрессивных средах
A995; A99; A97; A95; A85; A8; A7; A6; A5; A0; A (ГОСТ 11069—64)	Алюминий высокой технической чистоты, неупрочняемый термической обработкой. Листовой прокат применяется в отожженном состоянии. Прочностные характеристики металла (σ_s , $\sigma_{0,2}$) низкие		Металлы обладают высокой коррозионной стойкостью в концентрированной азотной кислоте при температуре до 55° С и в ряде других сред большой агрессивности
AD00; AD0; AD1; AD; AMц; AMцС (ГОСТ 4784—65)	Деформируемые алюминиевые сплавы, неупрочняемые термической обработкой. Листовой прокат, прутки и трубы применяются в отожженном состоянии. Механические свойства сплавов удовлетворительные, прочностные характеристики (σ_s , $\sigma_{0,2}$) — низкие. Пластические свойства сплавов сохраняются на высоком уровне при охлаждении их до самых низких температур (—196° С и ниже)	Металлы и сплавы хорошо деформируются в горячем и холодном состоянии; в отожженном состоянии они обладают высокой пластичностью, в полунагартованном — средней, а в нагартованном — низкой. Металлы и сплавы хорошо свариваются всеми видами сварки. Обрабатываемость резанием неудовлетворительная	Сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью во многих агрессивных средах: аммиаке при температуре от —40° до +70° С, газообразном и жидком водороде при температуре от +200° до —254° С, перекиси водорода концентрации 6 и 90% при температуре до 200° С, газообразном и жидком сернистом ангидриде, сероуглероде, муравьиной кислоте концентрации 3—20% при комнатной температуре, уксусной кислоте любой концентрации при температуре до 50° С и ледяной — при температуре до 40° С, уксусном ангидриде любой концентрации при температуре до 60° С и в других агрессивных средах
AMг2; AMг5 (ГОСТ 4784—65)	Деформируемые алюминиевые сплавы, неупрочняемые термической обработкой. Листовой прокат, прутки и трубы применяются в отожженном состоянии. Механические свойства сплавов удовлетворительные	Сплавы легко деформируются в горячем и холодном состоянии. Пластичность листового материала в отожженном состоянии удовлетворительная. Сплавы хорошо свариваются аргоно-дуговой сваркой и удовлетворительно другими видами сварки. Обрабатываемость резанием удовлетворительная	Сплавы в отожженном состоянии обладают высокой коррозионной стойкостью в ряде агрессивных сред нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств. Коррозионная стойкость сварных швов такая же, как и основного металла

Продолжение табл. 3.3

Марка (ГОСТ, ТУ)	Качественная характеристика	Механо-технологические свойства	Общая оценка коррозионной стойкости в агрессивных средах
Д1; Д16 (ГОСТ 4784—65)	Деформируемые алюминиевые сплавы, упрочняемые термической обработкой. Листовой прокат (плиты) и прутки применяются в закаленном и естественно состаренном состоянии. Механические свойства сплавов высокие. Пластические свойства сплавов сохраняются на высоком уровне при охлаждении их до температуры -196°C и более низких	Сплавы удовлетворительно деформируются в горячем и холодном состоянии. Пластичность сплавов в отожженном и свежезакаленном состоянии удовлетворительная. Сплавы хорошо свариваются точечной сваркой. Возможна газовая и аргоно-дуговая сварка сплава Д1 с применением присадочного материала из сплавов АК и В61, прочность и пластичность сварных швов низкая. Сплав Д16 не сваривается газовой и аргоно-дуговой сваркой. Обрабатываемость резанием сплавов в закаленном и состаренном состоянии удовлетворительная, в отожженном состоянии — низкая	Плакированные листы обладают удовлетворительной коррозионной стойкостью во многих средах средней и пониженной агрессивности. У сплава Д1 проявляется склонность к межкристаллитной коррозии под влиянием нагрева при температурах выше 100°C
АЛ4 (ГОСТ 2685—63)	Сплав обладает хорошими литейными свойствами. Температура литья в землю и кокиль $680-750^{\circ}\text{C}$. Линейная усадка 1%, объемная усадка 3,3%. Жидкотекучесть сплава высокая, герметичность высокая. Сплав не склонен к образованию горячих трещин	Сплав удовлетворительно сваривается газовой и аргоно-дуговой сваркой. Обрабатываемость резанием удовлетворительная	Сплав обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью во многих агрессивных средах
М1; М1р; М2; М2р (ГОСТ 859—66)	Медь техническая марок М1, М2 и М3 и медь бескислородная марок М1р, М2р и М3р применяется в виде листов, досок, прутков и труб в отожженном состоянии. Прочностные свойства металла в отожженном (мягком) состоянии низкие. Они существенно повышаются нагартовкой. Пластические свойства металла при низких температурах (до -254°C) сохраняются на высоком уровне	Металл в отожженном состоянии характеризуется высокой пластичностью, хорошо деформируется в горячем и холодном состоянии и поддается глубокой вытяжке. Металл хорошо паяется мягкими и твердыми припоями, бескислородная медь хорошо сваривается электродуговой и аргоно-дуговой сваркой. Обрабатываемость резанием удовлетворительная	Металлы обладают высокой коррозионной стойкостью во многих агрессивных средах: серной кислоте концентраций 10—40% при температуре 20°C , соляной кислоте концентраций 10—20% при температуре 20°C , газообразном HCl при температуре до 150°C , уксусной кислоте любых концентраций при температуре до 40°C , плавиковой кислоте концентрации до 60% при комнатной температуре и в других средах средней и высокой агрессивности
М3; М3р (ГОСТ 859—66)			Металл обладает высокой коррозионной стойкостью во многих агрессивных средах: бензоле, метиловом и этиловом спиртах любой концентрации и при любой температуре, газообразном и жидком водороде при температурах от $+200$ до -254°C , серной кислоте концентрации 6—96% при комнатной температуре и в других средах средней и высокой агрессивности

Марка (ГОСТ, ТУ)	Качественная характеристика	Механо-технологические свойства	Общая оценка коррозионной стойкости в агрессивных средах
Л62; ЛС59-1; ЛЖМц 59-1-1 (ГОСТ 1019—47)	<p>Сплавы обладают удовлетворительными прочностными характеристиками в отожженном состоянии и при охлаждении до низких температур (-254°C) сохраняют пластические свойства на высоком уровне.</p> <p>Латуни в напряженном состоянии склонны к коррозионному растрескиванию при воздействии паров аммиака, водных его растворов и растворов солей ртути. Латунь Л62 склонна к сезонному растрескиванию. Для устранения склонности латуней к растрескиванию рекомендуется отжиг металла при температуре $250\text{—}300^{\circ}\text{C}$</p>	<p>Латунь марки Л62 отлично деформируется в горячем и холодном состоянии, а латуни марок ЛС59-1 и ЛЖМц 59-1-1 — отлично в горячем и удовлетворительно в холодном состоянии. Сплавы хорошо паяются и свариваются электродуговой и аргоно-дуговой сваркой. Обрабатываемость резанием хорошая</p>	<p>Сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью во многих агрессивных средах: бензоле, метиловом и этиловом спиртах любой концентрации и при любой температуре, сернистой кислоте любой концентрации при комнатной температуре, расплавленной сере при температуре до 130°C, четыреххлористом углероде при любой температуре до кипения включительно, газообразном и жидком водороде при температурах от $+250$ до -254°C и в других агрессивных средах</p>
ЛОМш 70-1-0,06; ЛАМш 77-2-0,06 (ГОСТ 1019—47 с изм. № 3)	<p>Сплавы применяются в виде труб в отожженном состоянии. Прочностные и пластические характеристики их удовлетворительные</p>	<p>Сплавы хорошо деформируются в горячем и холодном состоянии, хорошо паяются мягкими и твердыми припоями. Обрабатываемость резанием удовлетворительная</p>	<p>Сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью в морской воде и в других средах средней и повышенной агрессивности</p>
Бр.АЖ 9-4 (ГОСТ 493—54) Бр.АЖ 9-4Л (ГОСТ 493—54)	<p>Сплавы применяются в деформированном или литом состоянии. Рекомендуемая температура литья в кокиль $1120\text{—}1140^{\circ}\text{C}$. Линейная усадка 2,5%</p>	<p>Сплавы хорошо обрабатываются давлением (ковка в горячем состоянии, прессование), хорошо свариваются, паяются с трудом, обрабатываются резанием удовлетворительно</p>	<p>Сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью во многих средах средней и повышенной агрессивности</p>
Бр.АЖ 10-4-4 (ГОСТ 493—54) Бр.АЖ 10-4-4Л (ГОСТ 493—54)	<p>Сплавы применяются в деформированном или литом состоянии. Рекомендуемая температура литья $1120\text{—}1200^{\circ}\text{C}$. Линейная усадка 2%</p>	<p>Сплавы удовлетворительно свариваются и обрабатываются резанием, паяются с трудом</p>	
НП0; НП1; НП2; НП3 (ГОСТ 492—52)	<p>Никель полуфабрикатный применяется в виде листов, полос, плит и труб в отожженном состоянии. Металл в напряженном состоянии проявляет склонность к коррозионному растрескиванию при воздействии растворов едкого натра</p>	<p>Металл удовлетворительно деформируется в горячем и холодном состоянии, удовлетворительно сваривается аргоно-дуговой сваркой неплавящимся (вольфрамовым) электродом и удовлетворительно обрабатывается резанием</p>	<p>Металл обладает высокой коррозионной стойкостью в расплавленном едком кали при температуре до 500°C, плавиковой кислоте любой концентрации при комнатной температуре, соляной кислоте концентрации до 10% при комнатной температуре и в других сильных агрессивных средах</p>

Продолжение табл. 3.3

Марка (ГОСТ, ТУ)	Качественная характеристика	Механо-технологические свойства	Общая оценка коррозионной стойкости в агрессивных средах
НМЖМц 28-2,5-1,5 (ГОСТ 492—52)	Сплав обладает удовлетворительными прочностными и пластическими характеристиками. В напряженном состоянии проявляет склонность к коррозионному растрескиванию при воздействии плавиковой и кремнефтористоводородной кислоты	Сплав удовлетворительно обрабатывается давлением в горячем состоянии, удовлетворительно обрабатывается резанием и удовлетворительно сваривается и паяется мягкими и твердыми припоями	Сплав обладает высокой коррозионной стойкостью в серной кислоте концентрации до 10% при любой температуре до кипения включительно, плавиковой кислоте любой концентрации при температуре до 120° С, газообразном хлористом водороде при температуре до 250° С и в других сильных агрессивных средах
С1; С2; С3 (ГОСТ 3778—65)	Металл обладает низкими прочностными характеристиками и характеризуется высокой пластичностью в холодном состоянии. В напряженном состоянии металл проявляет склонность к коррозионному растрескиванию при воздействии растворов уксусносвинцовой соли Pb(CH ₃ COO) ₂	Металл легко деформируется в холодном состоянии, плохо обрабатывается резанием и удовлетворительно сваривается оплавлением	Технический свинец обладает высокой коррозионной стойкостью в серной кислоте концентрации до 80% при любой температуре до кипения включительно, концентрации до 75% при температуре до +40° С и концентрации до 95% при комнатной температуре, разбавленных растворах сернистой кислоты концентрации 0,3 и 0,5% при температуре до +75° С, соляной кислоте концентрации 10% при температуре до +100° С и других сильных агрессивных средах
ССу1; ССу2; ССу3 (ГОСТ 1242—67)			Сурьмянистый свинец обладает высокой коррозионной стойкостью в серной кислоте концентрации до 80% при температуре до 120° С, соляной кислоте концентрации до 35% при температуре до 100° С и в других сильных агрессивных средах

Марка (ГОСТ, ТУ)	Качественная характеристика	Механо-технологические свойства	Общая оценка коррозионной стойкости в агрессивных средах
BT1-00; BT1-0; BT1-1 (АМТУ 388—68)	Металл обладает хорошими прочностными характеристиками	Пластичность металла при горячей деформации высокая. Штампуемость в холодном состоянии удовлетворительная. Металл хорошо обрабатывается резанием, хорошо сваривается дуговой сваркой в среде аргона	
OT4; OT4-0; OT4-1 (АМТУ 388—68)	Сплавы обладают высокой термической стабильностью и не охрупчиваются при длительной работе под напряжением при температурах до +400°С. Механические свойства сплавов повышенные. Сплавы обладают повышенной склонностью к упрочнению при холодной пластической деформации, в связи с чем наблюдается высокая упругая отдача штампуемого материала и наличие высоких остаточных напряжений в готовых деталях	Сплавы хорошо деформируются в горячем и холодном состоянии, удовлетворительно обрабатываются резанием, хорошо свариваются дуговой сваркой в среде аргона, контактной (точной и роликовой) сваркой, под слоем флюса. Для снятия внутренних напряжений в сварных соединениях, выполненных ручной аргоно-дуговой сваркой, рекомендуется применять отжиг для сплава OT4 при температуре 680—730°С, для сплава OT4-1 при температуре 500—600°С с выдержкой в зависимости от толщины материала и габаритных размеров изделия	Технический титан марок BT1-00, BT1-0, BT1-1 и титановые сплавы марок OT4, OT4-0, OT4-1, BT3-1, BT4, BT5, BT5-1 обладают высокой коррозионной стойкостью во многих сильных агрессивных средах, в частности в растворах хлоридов и хлористых солей. Титан и титановые сплавы хорошо используются в качестве коррозионно-стойкого материала для химической аппаратуры, применяемой в производстве мочевины, хлора, хлористого аммония, азотной кислоты, синтетического волокна, отбеливающих средств, в нефтехимической промышленности и во многих других производствах
BT5; BT5-1 (АМТУ 388—68)	Сплавы обладают высокой термической стабильностью и не охрупчиваются при длительной работе под напряжением в условиях нагрева до 500°С и кратковременно (до 5 мин) — до 800°С. Механические свойства сплавов высокие. При ограничении содержания кислорода до 0,1% сплав марки BT5-1 может применяться для аппаратуры, работающей при низких температурах (до —253°С)	Сплавы удовлетворительно деформируются в горячем состоянии, удовлетворительно обрабатываются резанием, хорошо свариваются ручной и автоматической аргоновой сваркой, дуговой сваркой под слоем флюса и контактной сваркой	

3.2. МЕХАНИЧЕСКИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

В табл. 3.4—3.10 приводятся данные по механическим свойствам цветных металлов и сплавов при комнатной, низких и высоких температурах, а в табл. 3.11 — физические свойства цветных металлов и сплавов.

Механические свойства листового проката из цветных металлов и сплавов

Таблица 3.4

Металлы и сплавы	Марка	Вид и состояние проката	ГОСТ, ТУ	Толщина, мм	σ_B	$\sigma_{0,2}$	$\delta, \%$	$\psi, \%$			
					МН/М ²						
Алюминий технический	A7; A6; A5; A0; A	Листы (мягкие отожженные)	ГОСТ 7869—56	≤10	≤110	35 *	≥28	—			
	≥60										
	≥90				≥60 **	≥20					
	≥170				—	≥18					
	ГОСТ 12592—67				≤4,5	150			≥15		
	5—10		≥280	130							
	Сплавы алюминиевые деформируемые		D1	Листы (закаленные и естественно состаренные)	АМТУ 347—61	2—10	≥380		≥200	—	
			D16			6—10	≥435		≥280		≥10
			AMr5	Плиты (горячекатаные, закаленные и естественно состаренные)		11—25	≥270		≥120		≥13
						26—50	≥260		≥110		≥12
D1		11—25	≥380			≥220	≥11				
		26—80	≥370			≥210	≥8				
D16		11—25	≥430			≥280	≥7				
		26—40	≥400			≥260	≥5				
		41—70	≥380			≥250	≥4				
		71—80	≥350				≥3				
Медь	M3; M3p	Листы мягкие (отожженные) и горячекатаные	ГОСТ 495—50		≤24	≥200	50	≥30 ⁴	0,56 ***		
									1,4 ***		
Латунь	L62	Листы горячекатаные	ГОСТ 931—52	≤22	≥300	110 ****	≥20	1,2 ****			
	LЖМц 59-1-1	Доски горячекатаные	МПУ 4420—54	25—150	≥380	≥140					
Никель	НП2	Листы и полосы горячекатаные	ГОСТ 6235—52	≤10	≥400	≥70 *	≥15	—			
Свинец	C2	Листы	ГОСТ 9559—60		≥15****	≥5*****	≥35****	>0,06****			

Металлы и сплавы	Марка	Вид и состояние проката	ГОСТ, ТУ	Толщина, мм	σ_b	$\sigma_{0,2}$	$\delta, \%$	$a_H, \text{МДж/м}^2$
					Мн/м ²			
Титан технический	BT1-00	Листы отожженные	АМТУ 475-1-67	1	≥ 300		≥ 30	
				2-6			≥ 25	
				6,5-10			≥ 20	
	BT1-0	Листы отожженные	АМТУ 475-2А-63	1	≥ 400		≥ 30	
				2-6			≥ 25	
				6,5-10			≥ 20	
	BT1-1	Листы горячекатаные	СТУ 174-4-65	12-60	≥ 450		≥ 12	
				12-20			≥ 10	
				21-60			≥ 10	
Титановые сплавы	OT4-0	Листы отожженные	АМТУ 475-10-67	1	≥ 500		≥ 30	
				2-6			≥ 25	
				6,5-10			≥ 20	
	OT4-1	Листы отожженные	АМТУ 475-4-67	1	≥ 600		≥ 20	
				2-6			≥ 15	
				6,5-10			≥ 13	
	OT4	Листы отожженные	АМТУ 475-3-67	1	≥ 700	$\geq 550^{*****}$	≥ 20	$\geq 0,3^{*****}$
				2-10			≥ 12	
				Листы горячекатаные			СТУ 174-4-65		12-20	$\leq 950$	$\geq 8$
	21-35	≤ 900	≥ 6					
	OT4-2	Листы отожженные	АМТУ 475-5-67	2-5	≥ 1000		≥ 10	
				5,5-10			≥ 8	
	BT4	Листы отожженные	АМТУ 475-6-67	1	≥ 850		≥ 15	
				2-10			≥ 10	
	BT5-1	Листы отожженные	АМТУ 475-7-67	1	≥ 750	$\geq 700^{*****}$	≥ 15	
2-6				≥ 10				
6,5-10				≥ 8				
BT5-1	Листы горячекатаные	СТУ 174-4-65	12-20	≤ 950		≥ 6		

* По [114].
 ** По опытным данным УЗХМ.
 *** По [109].
 **** По [185].
 ***** По [159].
 * По [193].

Механические свойства прутков из цветных металлов и сплавов

Таблица 3.5

Металлы и сплавы	Марка	Способ изготовления и состояние материала	ГОСТ, ТУ	Диаметр, мм	σ_B	$\sigma_{0,2}$	$\delta, \%$	$\alpha_H, \text{МДж/м}^2$		
					Мн/м^2					
Сплавы алюминиевые деформируемые	АД1; АД	Горячекатаные отожженные или без термообработки	ГОСТ 4783-49	≤ 300	< 110	35 *	≥ 25			
	АМц; АМцС				≤ 170	> 60 **	≥ 20			
	АМг5		АМТУ 424-58		≥ 270	≥ 120	≥ 15			
	Д1	Горячекатаные закаленные и естественно состаренные	ГОСТ 4783-49	≤ 160	≥ 380	≥ 220	≥ 12			
				> 160	≥ 360	≥ 200	≥ 10			
				≤ 22	≥ 400	≥ 260	≥ 12			
23-160				≥ 430	≥ 280	≥ 10				
Д16			> 160	≥ 420	≥ 260	≥ 8				
Медь	МЗ	Тянутые (мягкие)	ГОСТ 1535-48	≤ 40	≥ 200	50	≥ 38			
	МЗр		ГОСТ 10988-64							
	МЗ	Тянутые (твердые) и катаные	ГОСТ 1535-48					≥ 250	—	≥ 6
	МЗр		ГОСТ 10988-64							
Латунь	Л62	Тянутые	ГОСТ 2060-60	≥ 380	250 ***	≥ 15				
		Прессованные		≤ 160	≥ 300	110 ***	≥ 30			
	ЛС59-1	Тянутые		5-12	≥ 420	—	≥ 8			
		Прессованные		13-40	≥ 400	—	≥ 12			
	ЛЖМц 59-1-1	Тянутые		10-160	≥ 370	140 ***	≥ 18			
		Прессованные		≤ 40	≥ 450	—	≥ 15			
Бронза	Бр. АМц 9-2	Тянутые	ГОСТ 1628-60	≤ 40	≥ 550	—	≥ 12			
				25-45	≥ 500	300 *	≥ 15			
				48-120	≥ 480	—	≥ 20			
	Бр. АЖ 9-4	Прессованные		16-120	≥ 550	220 *	≥ 15			
				130-160	≥ 500	—	≥ 12			
				30-160	≥ 650	275	≥ 5			
Никель	НП2; НП3	Тянутые (мягкие)	ГОСТ 13083-67	≤ 40	≥ 380	—	≥ 26			
		Катаные		42-60	≥ 450	—	≥ 8			
Монель	НМЖМц 28-2,5-1,5	Тянутые (мягкие)	ГОСТ 1525-53	5-40	≥ 450	≥ 230 ****	≥ 25			
		Тянутые (твердые)			≥ 600	—	≥ 10			
		Катаные			35-70	≥ 500	—	≥ 18		

Металлы и сплавы	Марка	Способ изготовления и состояние материала	ГОСТ, ТУ	Диаметр, мм	σ_a	$\sigma_{0,2}$	$\delta, \%$	$a_n, \text{Мдж/м}^2$		
					МН/м^2					
Титан технический	BT1-00	Кованые (отожженные)	АМТУ 534-67	65-100	≥ 300		≥ 25	$\geq 1,2$		
				101-150	≥ 270		≥ 21	$\geq 0,6$		
				151-250			≥ 19			
	BT1-0			65-100	≥ 400		≥ 20	$\geq 1,0$		
				101-150	≥ 360		≥ 17	$\geq 0,5$		
				151-250						
	BT1-1	Катаные (отожженные)	АМТУ 451-67	≤ 60	≥ 450		≥ 20	$\geq 0,7$		
				Прессованные (отожженные)					АМТУ 487-1-62	≤ 100
										Кованые (отожженные)	СТУ 252-10-65	101-150	$\geq 14$	$\geq 0,5$
				151-250	≥ 380					
Титановые сплавы	OT4	Катаные (отожженные)	АМТУ 451-67	≤ 60	≥ 700		≥ 12	$\geq 0,4$		
				Прессованные (отожженные)			АМТУ 487-5-62	≤ 100	≥ 10	$\geq 0,35$
								Кованые (отожженные)	АМТУ 534-67	65-100	$\geq 8,5$	$\geq 0,35$
	101-250	≥ 650	≥ 10							
	OT4-0	Кованые (отожженные)	СТУ 252-10-65	101-150	≥ 700	≥ 8	$\geq 0,3$			
				151-250	≥ 630	≥ 20	$\geq 0,7$			
				АМТУ 534-67	65-100	≥ 500	≥ 17	$\geq 0,5$		
					101-250	≥ 450				
	151-250	≥ 450								
	OT4-1	Катаные (отожженные)	АМТУ 451-67	≤ 60	≥ 600		≥ 15	$\geq 0,45$		
				Прессованные (отожженные)					АМТУ 487-6-62	≤ 100
		Кованые (отожженные)	АМТУ 534-67		65-100	≥ 550	≥ 12	$\geq 0,4$		
				101-150						
151-250										

Продолжение табл. 3.5

Металлы и сплавы	Марка	Способ изготовления и состояние материала	ГОСТ, ТУ	Диаметр, мм	σ_b	$\sigma_{0,2}$	б. %	a_n , МДж/м ²
					Мн/м ²			
Титановые сплавы	OT4-1	Кованые (отожженные)	СТУ 252-10-65	101-150	≥ 600	≥ 1000	≥ 15	$\geq 0,45$
				151-250	≥ 540		≥ 10	$\geq 0,4$
	OT4-2		АМТУ 534-67	65-100	≥ 900		≥ 8	
				101-250	≥ 850		≥ 7	
	BT3-1	Катаные (отожженные)	АМТУ 451-67	≤ 60	≥ 950	≥ 900	≥ 10	$\geq 0,3$
				Прессованные (отожженные)			АМТУ 487-4-62	≤ 100	$\geq 10$	$\geq 0,3$
		Кованые (отожженные)	АМТУ 534-67					65-100	$\geq 8$
				СТУ 252-10-65			101-250	≥ 6
	BT4	Катаные (отожженные)	АМТУ 451-67	≤ 60	≥ 850	≥ 800	≥ 10	$\geq 0,35$
				Прессованные (отожженные)			АМТУ 487-7-62	≤ 100	$\geq 10$	$\geq 0,35$
		Кованые (отожженные)	АМТУ 534-67					65-100	$\geq 8,5$
				СТУ 252-10-65			101-250	≥ 7
	BT5	Катаные (отожженные)	АМТУ 451-67	≤ 60	≥ 700	≥ 750	≥ 10	$\geq 0,3$
				Прессованные (отожженные)			АМТУ 487-8-62	≤ 100	$\geq 10$	$\geq 0,3$
		Кованые (отожженные)	АМТУ 534-67					65-100	$\geq 6$	$\geq 0,5$
				СТУ 252-10-65			101-250	≥ 5	$\geq 0,25$
	BT5-1	Катаные (отожженные)	АМТУ 451-67	≤ 60	≥ 750	≥ 800	≥ 10	$\geq 0,30$
				Прессованные (отожженные)			АМТУ 487-9-62	≤ 100	$\geq 10$	$\geq 0,4$
		Кованые (отожженные)	АМТУ 534-67					65-100	$\geq 6$	$\geq 0,45$
				СТУ 252-10-65			101-250	≥ 720	$\geq 0,3$

• По [114].
 •• По опытным данным ЛенНИИхиммаша.
 ••• По [185].
 •••• По [159].

Таблица 3.6

Механические свойства труб из цветных металлов и сплавов

Металлы и сплавы	Марка	Способ изготовления и состояние материала	ГОСТ, ТУ	σ_b	$\sigma_{0,2}$	$\delta, \%$	α_n , Мдж/м ²
				Мн/м ²			
Сплавы алюминий-ные деформируемые	АД00; АД0; АД1; АД	Трубы катаные и тянутые мягкие (отожженные)	ГОСТ 4773—65	≥ 60	30 *	≥ 20	—
	АМц; АМцС			≥ 90	≥ 60 **	—	
	АМг2	≥ 160	—	—			
	АД1; АД АМц; АМцС	Трубы прессованные (отожженные)	ГОСТ 11535—65	≥ 60 ≥ 100	30 * ≥ 60 **	≥ 20 —	
Медь	М3; М3р	Тянутые (мягкие отожженные)	ГОСТ 617—64	≥ 210	50	≥ 35	0,56 ***
Латунь	Л62	Тянутые (мягкие) и прессованные	ГОСТ 494—52 (с изм. № 1)	≥ 300	110 *	≥ 38	1,4 ***
	ЛОМш 70-1-0,06				—	≥ 23	
	ЛАМш 77-2-0,06	Тянутые (мягкие)	—	—	—		
Никель	НПЗ	Тянутые (мягкие)	ТУ ЦМ 4—57	≥ 400	≥ 70 ****	≥ 30	—
Титан технический	BT1-00	Тянутые (отожженные)	АМТУ 386-1—65	≥ 300	—	≥ 20	—
	BT1-0		АМТУ 386-2—65	≥ 400		≥ 15	
Титановые сплавы	OT4-0		АМТУ 386-3—65	≥ 500		≥ 12	
	OT4-1		АМТУ 386-4—65	≥ 600		≥ 10	
	OT4		АМТУ 386-5—65	≥ 700		≥ 10	

* По [185].
 ** По опытным данным Уралхиммаша.
 *** По [109].
 **** По [114].

Таблица 3.7

Механические свойства штамповок и поковок из цветных металлов и сплавов

Металлы и сплавы	Марка	Отраслевая норма или ТУ на поставку	Вид полуфабриката и состояние материала	σ_b , Мн/м ²	$\delta, \%$	α_n , Мдж/м ²
				не менее		
Латунь	Л62	ОН 9-357—62	Поковки (отожженные)	300	20	—
	ЛЖМц 59-1-1			420	25	
Титан	BT1-1	АМТУ 368-1—62	Штамповки, поковки и прутки кованные сечением до 100 мм (отожженные)	450	20	0,70
Титановые сплавы	BT3-1	АМТУ 368-4—62		1000	10	0,30
	OT4	АМТУ 368-5—62		700		0,35
	OT4-1	АМТУ 368-6—62		600	10	0,45
	BT4	АМТУ 368-7—62		850		0,35
	BT5	АМТУ 368-8—62		750		0,30
	BT5-1	АМТУ 368-9—62		800	0,40	

Таблица 3.8

Механические свойства поковок из технического титана и титановых сплавов (по СТУ 252-10-65)

Марка	Сечение, мм	σ_B , Мн/м ²	δ , %	a_H , Мдж/м ²
		не менее		
BT1-0	101—250	330	15	0,50
BT1-1	101—150	450	20	0,70
	151—250	380	14	0,50
BT3-1	101—250	900	6	0,30
OT4	101—150	700	10	0,35
	151—250	630	8	0,30
OT4-0	151—250	450	15	0,50
OT4-1	101—150	600		0,45
		151—250	540	10	0,40
BT4	101—150	850	7		0,35
		151—250		770	0,30
BT5	101—150	750	10	0,25
		151—250	670		5
BT5-1	101—150	800	10	0,40
		151—250	720	6	0,30

Таблица 3.9

Механические свойства отливок из цветных металлов и сплавов

Металлы и сплавы	Марка	ГОСТ, ТУ	Способ литья	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ , %	a_H , Мдж/м ²
				Мн/м ²			
Алюминиевый сплав	АЛ4	ГОСТ 2685—53	В землю и кокиль	≥ 150	$\geq 100^*$	≥ 2	—
Латунь	ЛЖМц 59-1-1	ТУ НКО 507—63	В землю	≥ 380	—	≥ 20	
	ЛАЖМц 66-6-32	ГОСТ 1019—47	В кокиль	600		7	
			Центробежное литье	650			
Бронза	Бр. АМц 9-2Л	ГОСТ 493—54	В кокиль	400	200**	20	0,7**
	Бр. АЖ 9-4Л			500		12	0,63**
	Бр. АЖН 10-4-4Л			600		5	$\geq 0,3$

* По [114].
** По [185].

Таблица 3.10

Механические свойства цветных металлов и сплавов при низких и высоких температурах [6, 25, 93, 101, 107]

Марка	Вид полуфабриката и состояние образца	$t_{ст.}$ °C	$\sigma_{0,2}$ Мк/мм ²		δ , %	$a_{н.}$ Мдж/мм ²	Марка	Вид полуфабриката и состояние образца	$t_{ст.}$ °C	$\sigma_{0,2}$ Мк/мм ²		δ , %	$a_{н.}$ Мдж/мм ²
			$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{0,2}$						$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{0,2}$		
АМц	Лист горячеката- ный (мягкий)	-196	250	86	33,0	—	НП2	-196	630	132	20,0	—	
		-100	191	77	33,0			100	482	131	16,0		
АМг5	Лист (отожженный)	-70	183	75	33,0	1,00	НМЖМц 28-2,5-1,5	-70	474	130	15,2	—	
		20	110	60	20,0			100	450	—	31,0		
Д1	Пруток горячеката- ный (закаленный и естественно состаре- нный)	100	270	140	29,0	—	Лист (отожжен- ный)	200	400	—	28,0	—	
		150	230	140	37,0			300	375	—	18,0		
Д16	Лист (закаленный и естественно соста- ренный)	200	180	120	48,0	—	Лист (отожжен- ный)	500	275	—	15,0	—	
		196	460	183	31,0			600	200	—	15,0		
АЛ4	Образцы закален- ные с 535° С в воде, состаренные при 175° С в течение 15 ч с охлаждением в воде	-196	336	—	12,0	—	ВТ1-0	-196	800	200	50,0	—	
		-100	300	—	25,1			100	600	—	40,0		
АЛ4	Образцы диаметром 10 мм, отдельно от- литые в землю	-70	294	—	20,0	—	ВТ1-1	-70	575	182	38,0	—	
		20	278	—	29,0			100	500	—	37,0		
АЛ4	Образцы диаметром 10 мм, отдельно от- литые в землю	100	240	—	14,0	—	ВТ3-1	200	430	—	31,0	—	
		150	190	—	19,0			300	350	—	26,0		
АЛ4	Образцы закален- ные с 535° С в воде, состаренные при 175° С в течение 15 ч с охлаждением в воде	20	415	275	19,0	0,09	ВТ1-1	20	493	430	24,2	—	
		100	385	260	16,0			100	412	368	25,0		
АЛ4	Образцы закален- ные с 535° С в воде, состаренные при 175° С в течение 15 ч с охлаждением в воде	150	360	250	19,0	0,09	ВТ1-1	200	320	294	31,9	—	
		200	310	235	11,0			300	198	178	22,5		
АЛ4	Образцы закален- ные с 535° С в воде, состаренные при 175° С в течение 15 ч с охлаждением в воде	20	275	—	12,0	0,10	ВТ1-1	400	182	124	14,6	—	
		100	300	—	12,0			20	500	365	30,0		
АЛ4	Образцы закален- ные с 535° С в воде, состаренные при 175° С в течение 15 ч с охлаждением в воде	150	294	—	12,0	—	ВТ1-1	250	250	160	30,0	—	
		200	278	—	12,0			350	225	132	25,0		
АЛ4	Образцы закален- ные с 535° С в воде, состаренные при 175° С в течение 15 ч с охлаждением в воде	20	336	—	12,0	—	ВТ3-1	20	1700	1680	6,3	—	
		100	300	—	12,0			100	1350	1300	12,5		
АЛ4	Образцы закален- ные с 535° С в воде, состаренные при 175° С в течение 15 ч с охлаждением в воде	150	294	—	12,0	—	ВТ3-1	200	1260	1220	14,2	—	
		200	278	—	12,0			40	1200	1160	14,9		
АЛ4	Образцы закален- ные с 535° С в воде, состаренные при 175° С в течение 15 ч с охлаждением в воде	20	278	—	12,0	—	ВТ3-1	20	1050	900	12,0	0,3-0,8	
		100	300	—	12,0			100	960	800	15,0		
АЛ4	Образцы закален- ные с 535° С в воде, состаренные при 175° С в течение 15 ч с охлаждением в воде	150	294	—	12,0	—	ВТ3-1	200	870	690	14,0	0,5	
		200	278	—	12,0			300	800	630	14,0		
АЛ4	Образцы закален- ные с 535° С в воде, состаренные при 175° С в течение 15 ч с охлаждением в воде	20	240	—	3,0	—	ВТ3-1	400	750	590	15,0	1,0	
		100	220	—	3,0			500	670	500	16,0		
АЛ4	Образцы закален- ные с 535° С в воде, состаренные при 175° С в течение 15 ч с охлаждением в воде	150	190	—	3,5	—	ВТ3-1	500	670	500	16,0	—	
		200	190	—	3,5								

МЗ; МЗр	Листы мягкие (отожженные) и горячекатаные	—196	450	95	—	2,20	Лист (отожженный)	ВТ4	—196	1380	1270	10	—		
		—100	325	72	—	1,90			—70	1150	980	15		—	—
Л62		—20	300	65	30,0	—	Пруток (отожженный)	ВТ5	—196	1270	1170	11	—		
		—70	300	50	—	—70			910	860	12	—		—	—
		—100	250	32	—	20			770	720	8,5	—		—	—
		100	215	32	—	250			550	470	9	—		—	—
ЛЖМц 59-1-1		200	180	—	—	0,60		ОТ4	—196	1220	1120	12	—		
		300	150	—	—	—70			870	830	15	—		—	—
		—196	450	146	—	20			800	680	13	—		—	—
		—100	395	140	—	250			540	450	14	—		—	—
ЛС59-1		100	215	32	—	0,41		ОТ4-1	—196	1150	1050	13	—		
		200	180	—	—	—70			820	770	16	—		—	—
		300	150	—	—	250			400	320	30	—		—	—
		—196	450	146	—	300			380	300	—	—		—	—
Бр.АЖ 9-4	Листы мягкие (отожженные) и горячекатаные	—196	450	95	—	0,85	Пруток прессованный	ОТ4-1	—196	1150	1050	13	—		
		—100	325	72	—	—70			820	770	16	—		—	—
		—20	300	65	30,0	20			700	520	30	—		—	—
		100	215	32	—	250			400	320	—	—		—	—
Бр.АЖ4 10-4-4		200	180	—	—	0,40		ОТ4-1	—196	1150	1050	13	—		
		300	150	—	—	—70			820	770	16	—		—	—
		—196	450	146	—	20			700	520	30	—		—	—
		—100	395	140	—	250			400	320	—	—		—	—
Бр.АЖ4 10-4-4	Листы мягкие (отожженные) и горячекатаные	100	215	32	—	0,39	Пруток прессованный	ОТ4-1	—196	1150	1050	13	—		
		200	180	—	—	—70			820	770	16	—		—	—
		300	150	—	—	20			700	520	30	—		—	—
		—196	450	146	—	250			400	320	—	—		—	—
Бр.АЖ4 10-4-4		200	180	—	—	0,32		ОТ4-1	—196	1150	1050	13	—		
		300	150	—	—	—70			820	770	16	—		—	—
		—196	450	146	—	20			700	520	30	—		—	—
		—100	395	140	—	250			400	320	—	—		—	—
Бр.АЖ4 10-4-4	Листы мягкие (отожженные) и горячекатаные	100	215	32	—	0,27	Пруток прессованный	ОТ4-1	—196	1150	1050	13	—		
		200	180	—	—	—70			820	770	16	—		—	—
		300	150	—	—	20			700	520	30	—		—	—
		—196	450	146	—	250			400	320	—	—		—	—
Бр.АЖ4 10-4-4		200	180	—	—	0,27		ОТ4-1	—196	1150	1050	13	—		
		300	150	—	—	—70			820	770	16	—		—	—
		—196	450	146	—	20			700	520	30	—		—	—
		—100	395	140	—	250			400	320	—	—		—	—

Таблица 3.11

Физические свойства цветных металлов и сплавов [6, 25, 107, 114, 200]

Марка	Плотность ρ , кг/м ³	Коэффициент линейного расширения при 20–100°С $\alpha \cdot 10^6$, °С ⁻¹	Коэффициент теплопроводности при 20–100°С λ , Вт/(м·°С)	Модуль нормальной упругости при 20°С E , Гн/м ²	Марка	Плотность ρ , кг/м ³	Коэффициент линейного расширения при 20–100°С $\alpha \cdot 10^6$, °С ⁻¹	Коэффициент теплопроводности при 20–100°С λ , Вт/(м·°С)	Модуль нормальной упругости при 20°С E , Гн/м ²
A995; A99; A97; A95; A85; A8; A7; A6; A5; A0; A	2700	23,9	238	≥ 60	Бр.АМц 9-2	7600	17,0— 20,0	71	92
АД00; АД0; АД1; АД	2710	23,5	226	71	Бр.АЖ 9-4	7500	18,0	58	112
АМц; АМцС	2730		188	72	Бр.АЖН 10-4-4	7900	17,1	50	115
АМг2	2670		150	70	НП2; НП3	8900	13,3	59	210
АМг5	2650		125		НМЖМц 28-2,5-1,5	8840	14,0	25	183
Д1; Д16	2800		22,9	130	71	С1; С2; С3; ССу1; ССу2; ССу3	11 340	28,0	35	$\geq 18$
АЛ4	2650	21,7	159	—	ВТ1-1	4500	8,2	16,5	105
М3; МЗр	8940	16,6	384	115	ВТ3-1		—	8,7	113
Л62	8430	20,6	109	100	ВТ5-1	4420	8,3	8,8	102
ЛС59-1	8500	21,0	104	93	ОТ4	4550	8,0	8,4	110
ЛЖМц 59-1-1		22,0	100	106	ОТ4-1			9,6	105

Примечание. Для всех цветных металлов и сплавов коэффициент Пуассона $\mu \approx 0,33$.

3.3. РЕКОМЕНДУЕМЫЙ СОРТАМЕНТ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

В табл. 3.12—3.37 приводятся данные по рекомендуемому сортаменту листового проката, прутков и труб из цветных металлов и сплавов.

Таблица 3.12

Рекомендуемый сортамент листового проката из алюминия и его сплавов

Продолжение табл. 3.1

Вид проката	Толщина, мм	Допускаемое отклонение по толщине, мм	Масса 1 м ² , кг	Марка																			
				A995; A99	A97; A95; A85	A8; A7; A6	A5; A0; A	AД00; AД0	AД1; AД	AMc	AMcC	AMг2	AMг5	Д1	Д16								
Листы по ГОСТу 1946—50	1	-0,17	2,85	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///		
	2	-0,26	5,70	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///		
	3	-0,34	8,55	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///		
	4	-0,36	11,40	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///		
	6	-0,42	17,10	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///		
	8	-0,47	22,80	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	
	10	-0,50	28,50	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	
	Листы по ГОСТу 12592—67	1	-0,17	2,85	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	
		1,5	-0,25	4,275	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///
		2	-0,26	5,70	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///
2,5		-0,29	7,125	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	
3		-0,34	8,55	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	
4		-0,36	11,40	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	
5		-0,37	14,25	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	
6		-0,42	17,10	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	
8		-0,47	22,80	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	
10		-0,50	28,50	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	
Плиты по АМТУ 347—61	12	-1,0	34,20	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	
	14		39,90	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	
	16		45,60	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	
	18		51,30	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	
	20	57,00	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	
	22	-1,5	62,70	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	
	25		71,25	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	
	30		85,50	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	

Вид проката	Толщина, мм	Допускаемое отклонение по толщине, мм	Масса 1 м ² , кг	Марка																		
				A95; A99	A97; A95; A85	A8; A7; A6	A5; A0; A	AД00; AД0	AД1; AД	AMc	AMcC	AMг2	AMг5	Д1	Д16							
Плиты по АМТУ 347—61	35	-1,5	99,75	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///
	40		114,0	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///
	50	-2,0	142,5	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///
	60		171,0	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///
	70	-3,5	199,5	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///
	80		228,0	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///	///

Примечания:
 1. Допускаемые отклонения по толщине для листов толщиной < 10 мм приведены при ширине листов 1500 мм. Для плит толщиной 12—80 мм допускаемые отклонения по толщине приведены при ширине плит 1300—2000 мм.
 2. Размеры листов (длина и ширина) выбираются по ГОСТу 1946—50 или по ГОСТу 12592—67; плит — по АМТУ 347—61 в зависимости от рационального раскроя деталей.
 3. Плиты из сплава АД00, АД0, АД1, АД, АМг5 поставляются по размерам соответственно АМТУ 347—61 при дополнительном согласовании технических требований с поставщиком.
 4. Рекомендуемые толщины листового проката обозначены штриховкой.

Таблица 3.13

Рекомендуемый сортамент холоднокатаных и горячекатаных листов из технической меди марок М1, М2, М3 и бескислородной меди марок М1р, М2р и М3р (по ГОСТу 495—50)

Вид проката	Толщина, мм	Допускаемые отклонения по толщине, мм	Масса 1 м ² , кг	Размеры листов, мм
Листы холоднокатаные	1	-0,25	8,9	1000×2000
	2	-0,35	17,8	
	2,5		22,25	
	3	-0,40	26,7	
	4	35,6		
Листы горячекатаные	5	-0,45	44,5	1200×5000
	6	53,4		
	8	-0,50	71,2	

Продолжение табл. 3.13

Вид проката	Толщина, мм	Допускаемые отклонения по толщине, мм	Масса 1 м ² , кг	Размеры листов, мм
Листы горячекатаные	10	-0,55	89,0	1200×5000
	12	-0,80	106,8	1200×5500
	14	-0,90	124,6	
	16	-1,0	142,4	
	18	-1,3	160,2	
	20	-1,4	178,0	
	22	-1,5	195,8	
	24	-1,6	213,6	

Таблица 3.14

Рекомендуемый сортament листового проката из латуни марки Л62 (по ГОСТу 931—52)

Вид проката	Толщина, мм	Допускаемые отклонения по толщине, мм	Масса 1 м ² , кг
Листы холоднокатаные	1	-0,18	8,50
	1,5	-0,21	12,75
	2		17,00
	2,5	-0,24	21,25
	3		25,50
	4	-0,30	34,00
	4,5	-0,35	38,20
	5	-0,37	42,50
	6		51,00
	8	-0,45	68,00
10	-0,50	85,00	
Листы горячекатаные	12	-0,70	102,00
	14		119,00
	16	-0,80	136,00
	18		153,00

Продолжение табл. 3.14

Вид проката	Толщина, мм	Допускаемые отклонения по толщине, мм	Масса 1 м ² , кг
Листы горячекатаные	20	-0,80	170,00
	22	-1,0	187,00

Примечания:
1. Допускаемые отклонения по толщине для холоднокатаных листов приводятся для размеров 1000×2000 мм, горячекатаных листов — для размеров 710×1410 мм.
2. Размеры листов выбираются в зависимости от рационального раскроя деталей.

Таблица 3.15

Рекомендуемый сортament досок из латуни марки ЛЖМц 59-1-1 (по МПТУ 4420—54)

Толщина, мм	Допускаемые отклонения по толщине, мм	Масса 1 м ² , кг
25	-1,50	212,0
30		255,0
35		297,5
40	-2,00	340,0
50		425,0
60		510,0
70	-3,00	595,0
80		680,0
90		764,0
100		850,0
120	-5,00	1020,0
130		1105,0
140		1190,0
150		1275,0

Примечание. Размеры досок выбираются по МПТУ 4420—54 в зависимости от рационального раскроя деталей. Масса досок не должна быть более 2500 кг.

Таблица 3.16

Рекомендуемый сортамент листового проката из никеля марок НПО, НП1 и НП2

Вид проката	ГОСТ, ТУ	Толщина, мм	Допускаемое отклонение по толщине, мм	Масса 1 м ² , кг
Листы горячекатаные	ГОСТ 6235-52 (с изм. № 1)	5	-0,40	44,25
		6	-0,45	53,10
		7	-0,50	61,95
		8		70,80
		9	-0,60	79,65
		10		88,50
Плиты горячекатаные	ТУ ЦМО 57-65	15	±0,50	132,75
	ТУ ЦМО 55-64	21	-3,0	175,85
		26		220,10

Примечания:
 1. Допускаемое отклонение при толщине листа 5 мм указано для листов шириной 500 мм, при толщине 6-10 мм — для листов шириной 600 и 710 мм.
 2. Размеры листов толщиной до 10 мм включительно выбираются по ГОСТу 6235-52 в зависимости от рационального раскроя деталей.
 3. Плиты толщиной 15 мм поставляются шириной 560 мм, длиной 1250 мм; толщиной 21 мм — шириной 400 мм, длиной, кратной 410 мм; толщиной 26 мм — шириной 550 мм, длиной, кратной 560 мм.

Таблица 3.17

Рекомендуемый сортамент листов из свинца марок С1, С2 и С3 (по ГОСТу 9559-60)

Толщина, мм	Допускаемое отклонение по толщине, мм	Масса 1 м ² , кг
1,0	-0,12	11,37
1,5	-0,16	17,06
2,0	-0,18	22,74
2,5	-0,20	28,42
3,0		34,11
3,5		39,80
4,0	-0,24	45,48
4,5	-0,25	50,03
5,0		56,85
6,0	-0,30	68,22
8,0	-0,40	90,96
10,0	-0,50	113,7

Примечания:
 1. Допускаемые отклонения по толщине указаны для листов нормальной точности изготовления.
 2. Листы поставляются шириной 500 и 600 мм и длиной 1000 мм для всех толщин и длиной 1200 мм — для толщин ≥ 1,5 мм.

Таблица 3.18

Рекомендуемый сортамент листов из технического титана и титановых сплавов

Толщина, мм	Допускаемое отклонение по толщине, мм	Масса 1 м ² , кг	Марка материала	Технические условия	Толщина, мм	Допускаемое отклонение по толщине, мм	Масса 1 м ² , кг	Марка материала	Технические условия
1	±0,12	4,50	ВТ1-00; ВТ1-0; ВТ1-1; ОТ4; ОТ4-0; ОТ4-1; ВТ4; ВТ5; ВТ5-1	АМТУ 461-67	4,5	+0,22 -0,30	20,25	ВТ1-00; ВТ1-0; ВТ1-1; ОТ4; ОТ4-0; ОТ4-1; ВТ4; ВТ5; ВТ5-1	АМТУ 461-67
2	+0,14 -0,18	9,00			5		22,50		
2,5	+0,15 -0,20	11,25			5,5		24,75		
3	+0,16 -0,22	13,50			6	27,00			
3,5	+0,16 -0,25	15,75			6,5	29,25			
4		18,00			7	31,50			
					7,5	33,75			

Продолжение табл. 3.18

Толщина, мм	Допускаемые отклонения по толщине, мм	Масса 1 м ² , кг	Марка материала	Технические условия	Толщина, мм	Допускаемые отклонения по толщине, мм	Масса 1 м ² , кг	Марка материала	Технические условия
8	+0,30 -0,40	36,00	BT1-00; BT1-0; BT1-1; OT4; OT4-0; OT4-1; BT4; BT5; BT5-1	АМТУ 461-67	30	±1,5	135,00	BT1-0; BT1-1; OT4; OT4-1; BT5-1	СТУ 174-4-65
8,5		38,25			32		144,00		
9	+0,35 -0,45	40,50			34		153,00		
9,5	+0,40 -0,50	42,75			35		157,00		
10	+0,42 -0,55	45,00			36		162,00		
			38	171,00					
12	±1,2	54,00	BT1-0; BT1-1; OT4; OT4-1; BT5-1	СТУ 174-4-65	40	±2,0	180,00		
14		63,00			42		189,00		
15		67,50			44		198,00		
16		72,00			46		207,00		
18	±1,5	81,00			48		216,00		
20		90,00			50		225,00		
22		99,00			52		234,00		
24		108,00			56		252,00		
25		112,50			58		261,00		
28		126,00			60		270,00		

Габаритные размеры изготавливаемых листов

Марка материала	Толщина, мм	Ширина, мм	Длина, мм	Марка материала	Толщина, мм	Ширина, мм	Длина, мм
BT1-00; BT1-0; BT1-1; OT4-0; OT4-1	1	600; 700; 800	1000; 1500	OT4; OT4-1	12-35	600; 700; 800	1000; 1500; 2000; 2500
	2-10	600; 700; 800; 1000				1000	1000; 1500; 2000
BT1-0; BT1-1; OT4-0	12-35	600; 700; 800	1000; 1500; 2000; 2500; 3000		40-60	600; 700; 800	1000; 1500
		1000	1000; 1500; 2000; 2500			1000	1000-1500
	40-60	600; 700; 800	1000; 1500	BT4	1-2	600	1000; 1500
		1000	1000-1500	BT5; BT5-1	2-10	600; 700; 800	
OT4	1-2	600; 700; 800	1000; 1500	BT5-1	12-20		600; 700; 800	1000; 1500; 2000
	2,5-10	600; 700; 800; 1000			22-30	1000-2000	

Таблица 3.19

Рекомендуемый сортament круглых прутков, прессованных из алюминиевых сплавов марок АД00, АД0, АД1, АД, АМцС, АМг5, Д1 и Д16 (по ГОСТу 7857—55)

Диаметр, мм	Допускаемое отклонение на диаметр, мм	Масса 1 м, кг	Диаметр, мм	Допускаемое отклонение на диаметр, мм	Масса 1 м, кг
10	-0,36	0,21	55	-0,74	6,61
12	-0,43	0,31	60		7,76
14		0,42	65		9,10
16		0,55	70		10,52
18		0,70	80		13,80
20	-0,52	0,86	90	-2,2	17,44
22		1,05	100		21,56
24		1,24	110		26,44
26		1,46	120		31,04
28		1,68	130	-2,5	36,40
30		1,94	140		42,08
32		2,20	150		48,51
34		2,49	160		55,20
36	2,79	180	69,76	-2,9	
38	3,12	200	86,24		
40	3,44	220	105,76		
42	3,82	250	134,75		
45	4,36	280	168,32		
48	4,96	300	-3,3	194,00	
50	5,39				

Примечание. Допускаемые отклонения на диаметр указаны для 7-го класса точности изготовления прутков диаметром ≤ 80 мм и для 9-го класса точности изготовления прутков диаметром ≥ 90 мм.

Таблица 3.20

Рекомендуемый сортament круглых прутков, тянутых из меди марок М2, М2р, М3 и М3р (по ГОСТу 1535—48)

Диаметр, мм	Допускаемое отклонение на диаметр (5-й класс точности), мм	Масса 1 м, кг
10	-0,2	0,70
12	-0,24	1,01
14		1,37
16		1,79
18		2,27
20	-0,28	2,80
22		3,38
25		4,37
28		5,48
30		6,29
35	-0,34	8,56
40		11,18

Таблица 3.21

Рекомендуемый сортament круглых прутков из латуни марок Л62, ЛС59-1 и ЛЖМц 59-1-1 (по ГОСТу 2060—60)

Метод изготовления	Диаметр, мм	Допускаемое отклонение на диаметр, мм	Масса 1 м, кг
Тянутые	10	-0,20	0,67
	12	-0,24	0,96
	14		1,31
	16		1,71
	18		2,16
	20	-0,28	2,67
	22		3,23
	25		4,17
	30		6,01

Продолжение табл. 3.21

Метод изготовления	Диаметр, мм	Допускаемое отклонение на диаметр, мм	Масса 1 м, кг
Тянутые	35	-0,34	8,18
	40		10,68
Прессованные	45	-1,0	13,52
	50		16,69
	60	-1,2	24,03
	70		32,71
	80		42,73
	90	-1,4	54,07
	100		66,76
	110	-2,2	80,78
	120		96,13
	130	-2,5	112,82
	140		130,85
	150		150,21
160	170,90		

Примечание. Допускаемые отклонения на диаметр указаны по 5-му классу точности изготовления прутков диаметром ≤ 40 мм и по 9-му классу точности изготовления прутков диаметром ≥ 45 мм.

Таблица 3.22

Рекомендуемый сортамент круглых прутков, тянутых из бронзы марки Бр. АМц 9-2 (по ГОСТу 1628-60)

Диаметр, мм	Допускаемое отклонение на диаметр (4-й класс точности), мм	Масса 1 м, кг
10	-0,10	0,597
12	-0,12	0,86
14		1,17
16		1,53
18		1,93
20	-0,14	2,39

Продолжение табл. 3.22

Диаметр, мм	Допускаемое отклонение на диаметр (4-й класс точности), мм	Масса 1 м, кг
22	-0,14	2,89
25		3,73
28		4,68
30		5,37
35	-0,17	7,31
40		9,55

Таблица 3.23

Рекомендуемый сортамент круглых прутков, прессованных из бронзы марок Бр. АЖ 9-4, Бр. АЖН 10-4-4 и Бр. АМц 9-2 (по ГОСТу 1628-60)

Диаметр, мм	Допускаемое отклонение на диаметр (9-й класс точности), мм	Масса 1 м, кг		
		Бр. АЖ 9-4	Бр. АЖН 10-4-4	Бр. АМц 9-2
20	-1,3	2,36	2,42	—
22		2,85	2,93	—
25		3,68	3,78	3,73
28		4,62	4,74	4,68
30		5,30	5,44	5,37
35		7,22	7,41	7,31
40	-1,6	9,43	9,68	9,55
45		11,93	12,25	12,09
50		14,73	15,12	14,92
55	-1,9	17,82	18,29	18,06
60		21,21	21,77	21,49
70		28,86	29,63	29,25
80		37,70	38,71	38,20
90	-2,2	47,71	48,99	48,35
100		58,91	60,48	59,69
110	-2,5	71,28	73,18	72,23
120		84,82	87,09	85,95

Продолжение табл. 3.23

Диаметр, мм	Допускаемое отклонение на диаметр (9-й класс точности), мм	Масса 1 м, кг		
		Бр. АЖ 9-4	Бр. АЖН 10-4-4	Бр. АМц 9-2
130	-2,5	99,55	102,20	—
140		115,45	118,53	
150		132,54	136,07	
160		150,80	154,82	

Продолжение табл. 3.24

Метод изготовления	Диаметр, мм	Допускаемые отклонения по диаметру (мм) для прутков		Масса 1 м, кг
		5-го класса точности	9-го класса точности	
Катаные	42,0	—	-1,6	12,50
	45,0			14,15
	48,0			16,16
	50,0			17,48
	55,0		-1,9	21,20
	60,0			25,16

Примечание. Тянутые прутки изготавливаются длиной от 1,5 до 4 м, катаные — длиной от 1 до 4 м.

Таблица 3.24

Рекомендуемый сортамент круглых прутков из никеля марок НП2 и НП3 (по ГОСТу 13083—67)

Метод изготовления	Диаметр, мм	Допускаемые отклонения по диаметру (мм) для прутков		Масса 1 м, кг
		5-го класса точности	9-го класса точности	
Тянутые	6,0	-0,16	—	0,25
	8,0	-0,20		0,45
	10,0			0,70
	12,0	-0,24		1,01
	14,0			1,37
	16,0			1,79
	18,0			2,27
	20,0	-0,28		2,80
	22,0			3,38
	24,0			4,04
	26,0			4,74
	28,0			5,48
	30,0			6,29
	32,0	-0,34		7,16
	34,0			8,05
	36,0			9,08
	38,0			10,05
	40,0			11,18

Таблица 3.25

Рекомендуемый сортамент круглых прутков из монеля марки НМЖМц 28-2,5-1,5 (по ГОСТу 1525—53)

Метод изготовления	Диаметр, мм	Допускаемое отклонение на диаметр, мм	Масса 1 м, кг
Тянутые	10	-0,10	0,70
	12	-0,12	1,01
	14		1,37
	16		1,79
	18		2,27
	20	-0,14	2,80
	22		3,38
	25		4,37
	30		6,29
	35		8,56
Горячекатаные	40	-0,17	11,18
	45	-1,6	14,15
	50		17,48
	60	-1,9	25,16
	70		34,25

Примечания:
1. Допускаемые отклонения на диаметр указаны по 4-му классу точности изготовления прутков диаметром ≥ 40 мм и по 9-му классу точности — диаметром ≥ 45 мм.
2. Прутки горячекатаные диаметром 85, 125 и 140 мм изготавливаются по ТУ ЦМО 377—48.

Таблица 3.26

Рекомендуемый сортамент круглых и квадратных пресованных прутков из технического титана марки ВТ1-1 и титановых сплавов марок ОТ4, ОТ4-1, ВТ3-1, ВТ4, ВТ5 и ВТ5-1 (по АМТУ 487—62)

Диаметр или сторона квадрата, мм	Допускаемое отклонение на диаметр или на сторону квадрата, мм	Масса 1 м прутков, кг	
		Круглые	Квадратные
15	±2,0	0,79	1,01
20		1,41	1,80
25		2,21	2,81
30		3,18	4,05
35		4,35	5,50
40	+3,0 -2,0	5,65	7,20
45		7,15	9,12
50		8,84	11,25
55		10,69	13,60
60	±3,0	12,72	16,20
65		14,91	19,00
70		17,30	22,00
75		19,89	25,30
80		22,60	28,80
90		28,60	36,48
100	+4,0 -3,0	35,36	45,00
110		42,76	54,40
120		50,88	64,80
130		59,64	76,00
140		69,20	88,00
150	±5,0	79,56	101,20
160		90,40	115,20
170		102,00	130,00
180		114,40	145,92
190		127,90	162,50
200		141,44	180,00

Таблица 3.27

Рекомендуемый сортамент круглых катаных прутков из технического титана марки ВТ1-1 и титановых сплавов марок ОТ4, ОТ4-1, ВТ3-1, ВТ4, ВТ5 и ВТ5-1 (по АМТУ 451—59)

Диаметр, мм	Допускаемое отклонение по диаметру, мм	Масса 1 м, кг
10	+0,6 -1,0	0,35
12		0,51
14		0,68
16		0,89
18		1,13
20	+0,8 -1,0	1,41
22		1,73
25		2,21
30	+0,6 -1,2	3,18
35		4,35
40		5,65
45		7,15
50	+0,8 -2,0	8,84
55		10,69
60	+1,0 -2,2	12,72
Длина прутков от 1 до 6 м.		

Таблица 3.28

Рекомендуемый сортамент круглых и квадратных кованных прутков из технического титана марок ВТ1-00 и ВТ1-0 и титановых сплавов марок ОТ4, ОТ4-0, ОТ4-1, ОТ4-2, ВТ3-1, ВТ4, ВТ5, ВТ5-1 (по АМТУ 534—67)

Диаметр или сторона квадрата, мм	Допускаемое отклонение на диаметр или на сторону квадрата, мм	Масса 1 м прутков, кг	
		Круглых	Квадратных
65	±3,0	14,91	19,00
70		17,30	22,00
75		19,89	25,30
80		22,60	28,80

Продолжение табл. 3.28

Продолжение табл. 3.28

Диаметр или сторона квадрата, мм	Допускаемое отклонение на диаметр или на сторону квадрата, мм	Масса 1 м прутков, кг	
		Круглых	Квадратных
85	+4,0 -3,0	25,50	32,50
90		28,60	36,48
95		31,97	40,62
100		35,36	45,00
110		42,76	54,00
120		50,88	64,80
130		59,64	76,00
140		69,20	88,00
150	± 5,0	79,56	101,20
160		90,40	115,20
170		102,00	130,00

Диаметр или сторона квадрата, мм	Допускаемое отклонение на диаметр или на сторону квадрата, мм	Масса 1 м прутков, кг	
		Круглых	Квадратных
180	± 5,0	114,40	145,92
190		127,90	162,50
200		141,44	180,00
210		153,00	198,00
220	± 8,0	171,04	216,00
230		186,00	239,00
240		203,52	259,20
250		221,00	281,00

Примечание. Прутки диаметром или со стороной квадрата более 250 мм поставляются по специальным техническим условиям, согласованным между поставщиком и потребителем.

Таблица 3.29

Рекомендуемый для химической аппаратуры сортament труб из цветных металлов и сплавов

Назначение	Размеры труб (мм) из металлов и сплавов марок					
	АД00; АД0; АД1; АД; АМцС	АМг2	М1; М1р; М2; М2р; М3; М3р	ЛОМш 70-1-0,06 ЛМш 77-2-0,06	НПЗ	ВТ1-00; ВТ1-0; ОТ4-0; ОТ4-1; ОТ4
Трубные пучки нормализованных холодильников и конденсаторов с плавающей головкой по ОН 26-02-10-66 и ОН 26-02-09-66	-	20×2; 25×2	-	20×2; 25×2	-	-
Трубные пучки нормализованных кожухотрубных теплообменников с U-образными трубами по ОН 26-02-7-66	-	-	-	-	-	-
Трубные пучки витых змеевиковых теплообменников газоразделительных установок	10×2; 12×2; 14×2; 20×2	-	6×1; 7×1; 8×1; 8×1,5; 10×1; 12×1; 12×1,5	-	-	-
Трубные пучки кожухотрубных теплообменников газоразделительных установок	8×2; 10×2; 12×2; 14×2; 20×2; 25×2,5	-	8×1; 8×1,5; 10×1; 12×1; 12×1,5; 16×1; 16×1,5; 20×1; 20×1,5	-	-	-

Продолжение табл. 3.29

Назначение	Размеры труб (мм) из металлов и сплавов марок					
	АД00; АД0; АД1; АД; АМцС	АМг2	М1; М1р; М2; М2р; М3; М3р	ЛОМш 70-1-0,06; ЛАМш 77-2-0,06	НПЗ	ВТ1-00; ВТ1-0; ОТ4-0; ОТ4-1; ОТ4
Трубные пучки теплообменной аппаратуры малых и средних поверхностей нагрева	10×2; 12×2; 14×2; 20×2; 25×2,5	—	10×1; 12×1; 12×1,5; 16×1; 16×1,5; 20×1; 20×1,5; 24×1; 24×1,5	—	6×1; 8×1; 11×1; 13×1; 16×1; 25×3,5	6×1; 8×1; 10×1; 12×1; 14×1; 16×1
Трубные пучки теплообменной аппаратуры больших поверхностей нагрева	25×2,5; 32×2,5; 38×2,5; 45×2,5; 55×2,5		24×1; 24×1,5; 32×1,5; 38×1,5; 45×1,5; 55×1,5		—	20×1,5; 25×1,5; 25×2; 32×2; 32×2,5
Теплообменники типа «труба в трубе»	38×2,5; 75×3,5; 110×4		38×1,5; 75×2; 104×2		—	—
Змеевики	32×3,5; 38×3,5; 58×4		32×1,5; 38×1,5; 55×2		25×3,5; 44,5×4	25×2; 38×2,5; 45×3; 56×3
Патрубки штуцеров аппаратов	14×3; 18×3; 25×3; 32×3,5; 38×3,5; 45×3,5; 58×4; 75×4; 90×5; 110×5; 150×10; 170×10; 200×10; 220×10; 250×10; 270×10		16×1,5; 24×1,5; 28×1,5; 35×1,5; 45×1,5; 55×2; 75×2; 85×2; 104×2; 130×2,5; 155×2,5; 260×3; 258×4; 310×5		25×3,5; 44,5×4; 102×5	25×2; 30×2,5; 38×3; 45×3; 60×4

Таблица 3.30

Рекомендуемый сортамент труб из алюминиевых сплавов марок АД00, АД0, АД1, АД и АМцС для трубопроводов химических производств (по ГОСТу 1947—56)

Метод изготовления	$D_n \times s$, мм	Допускаемые отклонения, мм		Масса 1 м труб в кг из сплавов марок		Минимальный радиусгиба труб R_{min} , мм
		по наружному диаметру	по толщине стенки	АД00; АД0; АД1; АД	АМцС	
Трубы холодноотянутые и холоднокатаные	10×2	—0,15	±0,18	0,136	0,138	20
	12×2			0,170	0,172	25
	14×2			0,204	0,206	30
	14×3			±0,25	0,280		0,282

Продолжение табл. 8.30

Метод изготовления	$D_n \times s, \text{ мм}$	Допускаемые отклонения, мм		Масса 1 м труб в кг из сплавов марок		Минимальный радиус гiba труб $R_{\text{min}}^*, \text{ мм}$
		по наружному диаметру	по толщине стенки	АД00; АД0; АД1; АД	АМцС	
Трубы холоднотянутые и холоднокатаные	18×2	-0,15	±0,18	0,272	0,274	40
	18×3		±0,25	0,382	0,386	
	20×2		±0,18	0,306	0,309	
	22×2	0,340		0,343		
	25×2,5	-0,20	±0,20	0,478	0,482	50
	25×3		±0,25	0,561	0,566	
	32×2,5	-0,25	±0,20	0,625	0,632	70
	32×3,5		±0,25	0,846	0,855	
	38×2,5		±0,20	0,752	0,760	80
	38×3,5		±0,25	1,029	1,039	
	45×2,5		±0,20	0,902	0,911	100
	45×3,5		±0,25	1,231	1,245	
	55×2,5	-0,35	±0,20	1,115	1,128	120
	58×4		±0,28	1,835	1,850	
	75×3,5		±0,25	2,125	2,150	200
	75×4		±0,28	2,410	2,435	
	90×5	-0,50	±0,40	3,610	3,640	250
	110×4		±0,28	3,600	3,638	300
110×5	±0,40		4,460	1,500		
Трубы прессованные	150×10	±1,5	±1,0	11,900	12,010	400
	170×10	±1,7		13,600	13,700	500
	200×10	±2,0		16,200	16,300	600
	220×10	±2,2		17,800	18,000	700
	250×10	±2,5		20,400	20,600	750
	270×10	±2,8		22,100	22,300	800

* Радиус гiba дан по осевой линии труб по нормали ВМ 4-56 ВНИИТмаша.

Таблица 3.31

Рекомендуемый сортамент сварных труб из листового алюминнивого сплава марки АМц для трубопроводов химических производств на рабочее давление $p_p \leq 0,25 \text{ МН/м}^2$ (по МН 1100—60)

$D_y, \text{ мм}$	$D_n \times s, \text{ мм}$	Допускаемые отклонения по наружному диаметру, мм		Масса 1 м, кг
		—1,0		
100	103×1,5			1,32
125	128×1,5			1,63
150	153×1,5			1,95
200	203×1,5			2,65
250	204×2			4,50
300	305×2,5			6,50
350	355×2,5			7,60
400	406×3	—1,5		10,40
450	456×3			11,80
500	506×3			13,00
600	608×4			21,00
700	708×4			24,20
800	810×5	—2,0		34,60
1000	1012×6			52,00

Примечания:
 1. Для изготовления труб применяются мягкие (отожженные) листы алюминнивого сплава марки АМцА-М по ГОСТу 12592—67.
 2. Длина труб — по согласованию с поставщиком.
 3. Технические требования — по МН 1112—60.
 4. При сварке труб между собой встык продольные сварные швы должны быть смещены не менее чем на 100 мм.

Таблица 3.32

Рекомендуемый сортамент тянутых труб из технической меди марок М1, М2, М3 и бескислородной меди марок М1р, М2р, М3р для трубопроводов химических производств (по ГОСТу 617—64)

$D_n \times s, \text{ мм}$	Допускаемые отклонения, мм		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гйба труб $R_{\text{min}}, \text{ мм}$
	по наружному диаметру	по толщине стенки		
6×1	—0,15	±0,10	0,140	10
7×1			0,168	15
8×1			0,196	

Продолжение табл. 3.32

$D_n \times s, \text{ мм}$	Допускаемые отклонения, мм		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гйба труб $R_{\text{min}}, \text{ мм}$
	по наружному диаметру	по толщине стенки		
8×1,5	—0,15	±0,15	0,272	15
10×1		±0,10	0,252	
12×1	—0,20	±0,15	0,307	20
12×1,5		±0,15	0,440	
16×1		±0,10	0,419	30
16×1,5		±0,15	0,608	
20×1	—0,24	±0,10	0,531	40
20×1,5		±0,15	0,776	
24×1		±0,10	0,643	50
24×1,5		±0,15	0,943	
28×1,5	—0,30	±0,15	1,111	60
32×1,5		±0,15	1,279	
35×1,5		±0,15	1,404	80
38×1,5		±0,15	1,530	
45×1,5	—0,40	±0,15	1,823	100
55×1,5		±0,15	2,243	
55×2	—0,50	±0,15	2,962	150
75×2		±0,20	4,080	
85×2	—0,80	±0,15	4,639	170
105×2,5		±0,45	7,161	
130×2,5	±0,25	±0,5	8,908	250
155×2,5		±0,6	10,65	
206×3		±0,7	17,02	450

Продолжение табл. 3.32

$D_H \times s, \text{ мм}$	Допускаемые отклонения, мм		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гнба труб $R_{\text{min}}^*, \text{ мм}$
	по наружному диаметру	по толщине стенки		
258×4	±0,9	±0,30	28,39	500
308×4			33,98	600
358×4			39,57	700

* Радиус гнба дан по осевой линии труб по нормам ВНИИТмаша ВМ 4—56.

Продолжение табл. 3.34

Метод изготовления	$D_H \times s, \text{ мм}$	Допускаемые отклонения, мм		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гнба $R_{\text{min}}^*, \text{ мм}$ [51]
		по наружному диаметру	по толщине стенки		
Прессованные	42×6	+0,40 -0,50	±0,70	5,765	140
	55×7,5	+0,55 -0,70	±0,80	9,508	190
	70×10	+0,75 -0,90	±1,0	16,01	240

* Радиус гнба дан по осевой линии трубы.

Таблица 3.33

Рекомендуемый сортамент сварных труб из листовой меди МЗр для трубопроводов химических производств на рабочее давление $p_p \leq 0,6 \text{ Мн/м}^2$ (по МН 1113—60)

$D_y, \text{ мм}$	$D_H \times s, \text{ мм}$	Допускаемые отклонения по наружному диаметру, мм	Масса 1 м, кг
400	410×5	±1,0	56,7
450	460×5		63,6
500	510×5		70,5

Примечания:
1. Длина труб — по согласованию с поставщиком.
2. Технические требования — по МН 1166—60.
3. При сварке труб между собой стык продольные сварные швы должны быть смещены не менее чем на 100 мм.

Таблица 3.35

Рекомендуемый сортамент сварных труб из листовой латуни марки Л62 для трубопроводов химических производств на рабочее давление $p_p \leq 0,6 \text{ Мн/м}^2$ (по МН 1113—60)

$D_y, \text{ мм}$	$D_H \times s, \text{ мм}$	Допускаемые отклонения по наружному диаметру, мм	Масса 1 м, кг
100	125×1,5	-1,0	4,02
125	128×1,5		5,01
150	153×1,5		6,00
200	203×1,5		7,97
250	254×2	-1,5	13,32
300	305×2,5		19,98
350	355×2,5		23,31
400	406×3		31,99
450	456×3		35,95
500	506×3		39,91
600	608×4		63,98
700	709×4,5	-2,0	83,88
800	810×5		106,47
1000	1012×6		159,33

Примечания:
1. Длина труб 1 м. Допуск на длину согласно допускам на ширину листов по ГОСТу 931—52.
2. Технические требования — по МН 1135—60.
3. При сварке труб между собой стык продольные сварные швы должны быть смещены не менее чем на 100 мм.

Таблица 3.34

Рекомендуемый сортамент труб из латуни марки Л62 для трубопроводов химических производств на рабочее давление $p_p = 20 \text{ Мн/м}^2$ (по ГОСТу 494—52)

Метод изготовления	$D_H \times s, \text{ мм}$	Допускаемые отклонения, мм		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гнба $R_{\text{min}}^*, \text{ мм}$ [51]
		по наружному диаметру	по толщине стенки		
Тянутые	15×2,5	-0,24	±0,25	0,825	50
	22×3	-0,30		1,521	80
Прессованные	28×4	+0,30 -0,35	±0,50	2,562	100
	35×5	+0,35 -,45	±0,60	4,003	120

Таблица 3.36

Рекомендуемый сортамент труб из никеля марки НП2 для трубопроводов химических производств (по ТУ ЦМО 4—57)

$D_n \times s, \text{ мм}$	Допускаемые отклонения, мм		Масса 1 м, кг
	по наружному диаметру	по толщине стенки	
6×1	±0,1	±0,15	0,138
8×1			0,194
11×1			0,278
13×1	±0,2	±0,15	0,332
16×1			0,415
25×3,5	±0,3	±0,40	2,09
44,5×4	±0,5		4,50
102×5 *	±1,0	+0,1 -0,075	13,4

* Изготавливается по специальным техническим условиям Новотрубным заводом.

Таблица 3.37

Рекомендуемый сортамент труб из свинца марки С1, С2, С3 для трубопроводов химических производств (по ГОСТу 167—41)

$D_n \times s, \text{ мм}$	Допускаемые отклонения, мм		Масса 1 м, кг
	по среднему и внутреннему диаметрам	по толщине стенки	
18×4	-0,8	±0,45	2,0
24×4	-1,0		2,8
30×4	+0,3 -1,4		3,7
37×6		±0,65	6,7
47×7		10,0	
48×4		±0,45	6,3

Продолжение табл. 3.37

$D_n \times s, \text{ мм}$	Допускаемые отклонения, мм		Масса 1 м, кг
	по среднему и внутреннему диаметрам	по толщине стенки	
66×8	+0,5 -2,0	±0,80	16,6
80×5	+1,0 -2,4	±0,45	13,4
98×9		±0,80	28,6
118×9			35,1
145×10	+1,7	±0,80	46,0
170×10	-3,7		57,1

Таблица 3.38

Рекомендуемый сортамент труб из технического титана марок ВТ1-00 и ВТ1-0 и титановых сплавов марок ОТ4-0, ОТ4-1 и ОТ4 для трубопроводов химических производств (по АМТУ 386—65)

$D_n \times s, \text{ мм}$	Допускаемые отклонения*		Длина труб, м	Масса 1 м, кг
	по наружному диаметру	по толщине стенки		
12×1	±0,45 мм	±0,15 мм	4,0	0,154
18×1,5		0,350		
25×2		0,650		
28×2	0,735			
38×2,5	±1,5%	±15%	3,0	1,27
45×2,5				1,52
56×2,5		1,84		
56×3	2,20			

Примечание. По длине трубы поставляются: немерной длины от 1 м до величины, указанной в таблице; мерной длины — не более указанной в таблице с отклонением по длине ±15 мм.

* Для труб обычной точности изготовления.

НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

4.1. НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРЕИМУЩЕСТВЕННО ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ХИМИЧЕСКОМ АППАРАТОСТРОЕНИИ

Химически стойкие неметаллические материалы нашли широкое применение как в качестве самостоятельных конструкционных материалов для изготовления химической аппаратуры, работающей без давления или под небольшим избыточным давлением, так и в качестве футеровочных материалов для защиты аппаратуры от разрушающего действия агрессивных сред.

В ряде химических производств применение неметаллических химически стойких материалов позволяет производить замену остродефицитных и дорогостоящих высоколегированных сталей, цветных металлов и сплавов.

В других химических производствах разрушающее действие агрессивной среды на металлы и сплавы столь велико, что применение неметаллических химически стойких конструкционных материалов представляет единственную возможность для осуществления технологического процесса производства химических продуктов.

В табл. 4.1 приводится перечень неметаллических химически стойких материалов, рекомендуемых для химической аппаратуры и трубопроводов химических производств.

Таблица 4.1

Рекомендуемые неметаллические материалы для химической аппаратуры и трубопроводов химических производств [62, 72, 74, 83, 91, 94, 95, 96, 105, 117, 147, 150, 162, 186, 199, 202, 204, 205, 217]

Наименование, марка (ГОСТ или ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики материала	Условия применения		Примерное назначение
		$t_{cm}, ^\circ C$	$P_p, \text{Мн/м}^2$, не более	
Природные кислотоупоры				
Андезит	Горные породы, состоящие из нескольких минералов. Обладают исключительно высокой химической стойкостью против минеральных кислот любых концентраций при любых температурах, включая и высокие. Материал хорошо сопротивляется сжимающим нагрузкам, но неудовлетворительно работает на растяжение и на изгиб	≤ 600	0,07	Абсорбционные башни в производстве соляной и азотной кислот; аппаратура для получения купоросного масла и корпуса электрофильтров в установках для концентрирования серной кислоты. Футеровочный материал для абсорбционных, сушильных и поглотительных башен при нитрозном и контактном способах получения серной кислоты и для аппаратов, подверженных воздействию агрессивных кислот и газов при высоких температурах
Бештаунит		≤ 800		
Гранит украинский и карельский	Горная порода, состоящая из нескольких минералов. Материал отличается меньшей по сравнению с андезитом и бештаунитом химической стойкостью против минеральных кислот	≤ 200		
Кварцит карельский	Горная порода, состоящая из нескольких минералов. Кислотоупорность материала высокая	≤ 1000		
Асбест кислотоупорный (антофиллитовый) и щелочестойкий (хризотилловый)	Минерал, имеющий волокнистую структуру, отличается высокой химической стойкостью во многих агрессивных средах и высокой температуростойкостью. Материал негорюч, обладает низким коэффициентом теплопроводности	≤ 600		
		≤ 400	Поглотительные башни в производстве соляной и азотной кислот; аппаратура для производства йода, брома и других агрессивных химических продуктов Насадка абсорбционных башен в производстве соляной, азотной и других минеральных кислот Сальниковая набивка и прокладочный материал для фланцевых соединений аппаратов и трубопроводов химических производств Тепловая изоляция химических аппаратов и трубопроводов	

Наименование, марка (ГОСТ или ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики материала	Условия применения		Примерное назначение
		$t_{cm}, ^\circ C$	$P_p,$ $Mk/M^2,$ не более	
Каменное литье				
Диабаз и базальт плавленные	Материал отличается высокой прочностью на истирание и высокой термостойкостью, вследствие чего футеровочные изделия из него (кирпич, плитки) применяются при ограниченном перепаде температур: в жидкостях до $100^\circ C$, в газах до $200^\circ C$. Материал устойчив при действии кислот (за исключением плавиковой) и щелочей, растворов солей любых концентраций, полностью непроницаем для агрессивных жидкостей и газовых сред	≤ 200	—	Футеровочный материал для химических аппаратов, работающих в условиях воздействия минеральных кислот средних и высоких концентраций под атмосферным или повышенным давлением (автоклавы, монжусы, реакторы, кристаллизаторы, сатураторы, отстойники, кислотохранилища, трапильные ванны и др.)
Керамические кислотоупорные материалы и бетон				
Керамика душитовая	Прочный теплостойкий материал, не поддающийся истиранию и не пропускающий жидкостей. Материал устойчив против воздействия минеральных кислот (за исключением плавиковой и фосфорной) и органических кислот любой концентрации и щелочных сред концентрации до 2%	≤ 180 (для кислотных сред); ≤ 30 (для щелочных сред)	0,07	Реакторы, ванны, сосуды, тарелки, колпачковые типа ТТК (для металлических колонных аппаратов) диаметром 300—1800 мм и другая химическая аппаратура, предназначенная для работы с кислотными агрессивными средами любой концентрации и с разбавленными растворами щелочей
Керамика кислотоупорная	Материал устойчив против воздействия минеральных кислот (за исключением плавиковой и фосфорной) и органических кислот любой концентрации		—	Насадка для колонных аппаратов (кольца Рашига); футеровочные штучные изделия (кирпич, плитка) для антикоррозионной защиты емкостной химической аппаратуры из углеродистой стали и других конструкционных материалов от воздействия агрессивных сред
Керамика шамотно-бентонитовая пористая № 21; 32; 43; 64	Материал устойчив против воздействия минеральных кислот (за исключением плавиковой и фосфорной) и органических кислот любой концентрации и щелочных сред концентрации до 10%	≤ 350 (для кислотных сред); ≤ 30 (для щелочных сред)		Пористые элементы (цилиндры и диски) для фильтрующих аппаратов, работающих в кислотных и щелочных средах
† Фарфор твердый кислотоупорный	Прочный теплостойкий материал, не поддающийся истиранию и не пропускающий жидкостей. Материал устойчив против воздействия минеральных кислот (за исключением плавиковой и фосфорной) и органических кислот любой концентрации и щелочных сред концентрации до 10%	≤ 120 (для кислотных сред); ≤ 30 (для щелочных сред)	0,07	Реакторы, нутч-фильтры, ванны, сосуды и другие аппараты, предназначенные для работы с кислотными агрессивными средами любой концентрации и с разбавленными растворами щелочей
			0,4	Трубы и фасонные части к ним для трубопроводов химических производств

Продолжение табл. 4.1

Наименование, марка (ГОСТ или ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики материала	Условия применения		Примерное назначение
		$t_{ст}, ^\circ C$	$R_p, \text{Мн/м}^2$, не более	
Фарфор кислотоупорный	Материал устойчив против воздействия минеральных кислот (за исключением плавиковой и фосфорной) и органических кислот любой концентрации	≤ 120 (для кислотных сред); ≤ 30 (для щелочных сред)	—	Насадка для колонных аппаратов (кольца Рашига); футеровочные штучные изделия (кирпич, плитка) для антикоррозионной защиты емкостной химической аппаратуры из углеродистой стали и других конструкционных материалов от воздействия агрессивных сред
Бетон кислотоупорный	Смесь кислотоупорных материалов различного гранулометрического состава (андезит, бештаунит, гранит, кварц, щебень, песок, пылевидный наполнитель) с добавкой технического кремнефтористого натрия. Смесь растворяют в 35—38%-ном водном растворе жидкого стекла. Она застывает в прочный бетон, устойчивый во многих минеральных кислотах	—	—	Кислотохранилища, башни для сушки хлористого водорода, кристаллизаторы и другие химические аппараты в производстве минеральных кислот. Футеровочный материал для аппаратов, изготовляемых из углеродистой стали, железобетона и кирпича
Искусственные силикатные материалы				
Стекло силикатное (известково-натриевое)	Материал обладает повышенной хрупкостью и пониженной теплоустойкостью, плохо противостоит резким изменениям температуры (растрескивается), но устойчив во многих агрессивных средах (кислотах и др.)	≤ 50	—	Бутылки для хранения кислот, водомерные стекла, фонари и смотровые окна химических аппаратов и трубопроводов; трубопроводы химических производств. Футеровочный коррозионноустойчивый материал для емкостной аппаратуры, изготовляемой из углеродистой стали и других конструкционных материалов
Стекло боросиликатное (термостойкое)	Материал отличается высокой термической устойчивостью и высокой химической стойкостью в органических и минеральных кислотах (за исключением фосфорной и плавиковой)	≤ 400	—	
Стекло кварцевое	Материал отличается высокой термической устойчивостью и огнеупорностью, что позволяет применять его для аппаратуры, работающей в условиях высоких температур с резкими их перепадами. Стекло устойчиво в органических и минеральных кислотах любых концентраций (за исключением плавиковой и фосфорной), но плохо сопротивляется растворам солей и щелочам	≤ 1000	1,0	Емкостная, колонная и теплообменная сварная и литая химическая аппаратура для производства многих минеральных и органических кислот и различных реактивов. Аппаратура для органического синтеза химических продуктов, органических красителей, лаков, эфиров и пр.; трубопроводы химических производств. Заменитель платиновой аппаратуры

Наименование, марка (ГОСТ или ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики материала	Условия применения		Примерное назначение
		$t_{ст}, ^\circ C$	$P_p,$ Мн/м ² , не более	
Эмаль кислотоупорная (покрывная) класса I марок Э-1; 17; 141; 143 для покрытия стальной аппаратуры и марки 5а и класса II для покрытия чугунной аппаратуры	Эмали устойчивы при воздействии большинства неорганических и органических кислот и их солей (за исключением технической фосфорной кислоты, содержащей следы фтора, плавиковой и кремнефтористоводородной кислоты), крепких растворов органических кислот и их солей, газов кислотного характера (хлористый водород, сернистый и углекислый газы). Эмали неустойчивы к воздействию расплавов щелочей и щелочных растворов при высоких температурах	≤ 200	0,6	Коррозионностойкий материал для покрытия сварной стальной и литой чугунной химической аппаратуры, предназначенной для работы со многими средами средней и повышенной агрессивности в производствах химически чистых кислот, солей, красителей, фармацевтических и парфюмерных препаратов, пищевых продуктов, взрывчатых и других веществ
Эмаль химически стойкая класса II (группы А и Б)	Эмаль группы А устойчива при действии слабых растворов органических кислот при температуре кипения, эмаль группы Б — при комнатной температуре			
Пластмассы термореактивные				
Фаолит А листы сырые по ТУ НКХП 322—45; листы отвержденные по ТУ ГХП 35—44; трубы по ТУ МХП 321—51 (сортамент по МН 1808—61)	Кислотоупорная пластическая масса, получаемая на основе жидкой фенолоформальдегидной смолы и кислотостойкого наполнителя — асбеста (фаолит марки А), графита (фаолит марки Т) и кварцевого песка (фаолит марки П).	От 0 до 140	0,06	Абсорбционные и ректификационные колонны, скрубберы, сушильные башни, насадочные колонны, сборники, емкости, кристаллизаторы и другие химические аппараты для сред средней и повышенной агрессивности. Футеровочный материал для емкостной аппаратуры из углеродистой стали
Фаолит Т листы сырые по ТУ НКХП 322—45; листы отвержденные по ТУ ГХП 35—44; трубы и фасонные части к ним по ТУ МХП 321—51 (сортамент по МН 1808—61)	Изделия из сырого фаолита можно формовать при комнатной температуре без применения высокого давления с последующим отверждением (бакелизацией), что позволяет изготавливать из него крупногабаритную аппаратуру, не пользуясь прессами. Фаолит производится как в виде готовых изделий (из отвержденного материала), так и в виде полуфабрикатов — сырых листов, прессованной массы и замазки. Фаолит поддается всем видам механической обработки, хорошо прессуется, склеивается между собой при помощи фаолитовой замазки или замазки арзамит			Теплообменная аппаратура (оросительные холодильники) для тех же сред; трубопроводы химических производств
Фаолит П прессовочная масса				Запорная арматура (по ТУ МХП 325—51)
Фаолитовая замазка марки А по МРТУ 6-05-1003—66				Применяется для соединения листового фаолита и труб при изготовлении из них изделий

Продолжение табл. 4.1

Наименование, марка (ГОСТ или ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики материала	Условия применения		Примерное назначение
		$t_{ст}, ^\circ C$	$R_p, \text{Мн/м}^2$, не более	
Текстолит поделочный марок ПТК, ПТ, ПТ-1. Листы (ГОСТ 5—52)	Слоистый материал, получаемый путем прессования уложенной слоями хлопчатобумажной ткани, пропитанной резольной фенолокрезоло или ксиленолоформальдегидной смолой или смесью этих смол. Материал отличается высокой прочностью на сжатие, хорошо обрабатывается резанием, обладает высокой устойчивостью во многих агрессивных средах, имеет низкий коэффициент теплопроводности	От -196 до $+125$		Детали внутренних устройств химических аппаратов (шестерни, ролики для тросов, муфты и др.) для сред средней и повышенной агрессивности; теплоизолирующие подкладки под опоры аппаратов и проставки в низкотемпературной арматуре
Текстолит; стержни (ГОСТ 5385—68)				
Текстолит графитированный; листы и плиты (ВТУ 35-ХП-369—61)	Материал хорошо работает на сжатие, хорошо обрабатывается резанием, обладает хорошими антифрикционными свойствами и высокой устойчивостью во многих агрессивных средах			Вкладыши подшипников скольжения для узлов перемещающих устройств и другие детали аппаратов для агрессивных сред
Асботекстолит: плиты толщиной 6—30 мм (МРТУ 6-05-898—63) и толщиной >100 мм (ВТУ УХП 183—60)	Материал обладает низким коэффициентом теплопроводности	От -196 до $+140$		Теплоизоляционный материал, используемый для подкладок под опоры аппаратов, работающих при высоких и низких температурах стенки
Асбовинил	Композиция из кислотостойкого асбеста и лака этиноль. Материал обладает хорошей адгезией к металлу, бетону, дереву, керамике, возможностью нанесения футеровочного слоя шпателем или кистью, высокими пределами рабочих температур, при которых сохраняются антикоррозионные свойства материала, доступностью и дешевой исходного сырья. Асбовинил устойчив к резким колебаниям температуры, обладает низким коэффициентом теплопроводности и высокой устойчивостью к воздействию большинства кислот, щелочей и других агрессивных сред. Материал токсичен и огнеопасен	От -50 до $+110$		Антикоррозионная футеровка химических аппаратов емкостного типа для агрессивных сред. Толщина футеровочного слоя асбовинила обычно достигает 10—12 мм. Асбовинил непригоден для применения его в качестве самостоятельного конструкционного материала

Наименование, марка (ГОСТ или ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики материала	Условия применения		Примерное назначение
		$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	$P_p,$ Мн/м ² , не более	
Пластмассы термопластичные				
Винипласт марки ВН; листы (ГОСТ 9639—61); листы (МРТУ 6-11-2— 64)	<p>Материал сохраняет достаточную прочность до температуры 60° С, не подвержен быстрому старению, снижающему механические свойства и химическую стойкость, но очень чувствителен к надрезу, резко снижающему ударную вязкость (иногда до 100% от исходной величины).</p> <p>Винипласт устойчив к воздействию почти всех кислот, щелочей и растворов солей любых концентраций. Исключение составляют сильные окислители (азотная кислота, олеум). Винипласт нерастворим во всех органических растворителях за исключением ароматических и хлорированных углеводородов (бензол, толуол, дихлорэтан, хлорбензол). В большинстве случаев химическая стойкость винипласта, наивысшая для средних концентраций, низка для высоких и низких концентраций. Материал легко обрабатывается резанием, легко деформируется в горячем состоянии, хорошо сваривается и склеивается</p>	От 0 до +40	0,04	Обечайки, днища, детали внутренних устройств сварных и клееных химических аппаратов для сред средней и повышенной агрессивности; футеровочный материал для антикоррозионной защиты химической аппаратуры
Винипласт марки ВНТ; листы (ГОСТ 9639—61) листы (МРТУ 6-11-2—64)				Те же детали для аппаратуры, применяемой в пищевой промышленности
Винипласт; стержни (ТУ МХП 4251—54)				Детали внутренних устройств аппаратов того же назначения; крепежные детали (болты, шпильки, винты, гайки)
Винипласт; трубы (ТУ МХП 4251—54 сортамент по МН 1427—61 и 1444—61)			0,6	Патрубки и детали внутренних устройств аппаратов, трубопроводы химических производств
Винипласт; пленка толщиной 0,3—1,0 мм			—	Антикоррозионная футеровка стальной химической аппаратуры
Винипласт; профильные изделия (уголок и др.)			—	Фланцы аппаратов, воздухопроводов и другие детали аппаратов и трубопроводов химических производств
Полиэтилен низкого давления (высокой плотности) стабилизированный (трубы по МРТУ 6-05-917—67)	Полиэтилен низкого, среднего и высокого давления обнаруживает склонность к старению под воздействием кислорода воздуха и солнечной радиации, повышающих жесткость и хрупкость материала. Применение универсальных стабилизаторов надежно защищает материал от старения обоих видов. С повышением температуры резко снижаются прочностные свойства материала. Полиэтилен обладает хорошей адгезией к металлам и многим неме-	От -60 до +50	1,0	Трубопроводы химических производств для транспортирования воды, инертных газов, негорючих и нетоксичных паров и жидкостей, продуктов с токсическими свойствами, пожаро- и взрывоопасных жидкостей и газов, к которым материал химически стоек и для которых непроницаем, а также для негорючих и нетоксичных паров и жидкостей, к которым материал условно стоек

Наименование, марка (ГОСТ или ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики материала	Условия применения		Примерное назначение
		$t_{ст}, ^\circ C$	$P_p, \text{ Мн/м}^2$, не более	
Полиэтилен высокого давления (низкой плотности) стабилизированный (трубы по МРТУ 6-05-918—67)	таллическим материалам, что позволяет применять его в качестве антикоррозионного футеровочного материала для аппаратуры, работающей в различных агрессивных средах. Материал поддается различным методам переработки (экструзии, прессованию, литью под давлением), легко сваривается и склеивается. Полиэтилен при комнатной температуре устойчив к воздействию большинства минеральных кислот, оснований и растворов солей, а также ко многим органическим жидкостям, но набухает в углеводородах, а при 60—70° С растворяется в них. При 20° С полиэтилен нестоек к ацетону, бензину, керосину, сероуглероду, нефти, трихлорэтилену, концентрированному раствору йода, хлору. С повышением температуры среды химическая стойкость полиэтилена снижается. В большинстве случаев химическая стойкость полиэтилена является наивысшей для средних концентраций среды и меньшей для низких и высоких концентраций. Полиэтилен горит под воздействием открытого пламени	От —60 до +60	1,0	Трубопроводы химических производств для транспортирования воды, инертных газов, нетоксичных паров и жидкостей, продуктов с токсическими свойствами, за исключением сильнодействующих ядовитых веществ и дымящихся кислот, горючих (в том числе и сжиженных) и активных газов, легко воспламеняющихся и горючих жидкостей, к которым материал химически стоек и для которых непроницаем, а также для негорючих и нетоксичных паров и жидкостей, к которым материал условно стоек
Полиэтилен низкого давления порошкообразный стабилизированный марки П 4090—НТФ (МРТУ 6-05-890—66)				
Полипропилен стабилизированный (листы по техническим условиям, утверждаемым в установленном порядке)	Материал выдерживает значительные механические нагрузки и обладает высокой эластичностью. Твердость полипропилена почти вдвое выше твердости полиэтилена низкого давления и более чем в пять раз выше твердости полиэтилена высокого давления. Высокие механические свойства материал сохраняет вплоть до температуры размягчения. Процесс старения полипропилена аналогичен старению полиэтилена и затормаживается у стабилизированного материала. Полипропилен хорошо сваривается, но плохо склеивается из-за слабого набухания в органических растворителях. Методы переработки полипропилена такие же, как и для полиэтилена. (Продолжение см. на стр. 180)	От —10 до +100	0,07	Обечайки, днища и другие детали сварной емкостной химической аппаратуры, изготовляемой из листового материала в сочетании с металлическими каркасами и без них, предназначенной для работы со средами средней и повышенной агрессивности
Полипропилен стабилизированный (трубы по техническим условиям, утверждаемым в установленном порядке)				1,0	Детали внутренних устройств и патрубков аппаратов того же назначения; трубопроводы химических производств

Наименование, марка (ГОСТ или ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики материала	Условия применения		Примерное назначение
		$t_{cm}, ^\circ C$	$P_p,$ $Mn/m^2,$ не более	
Полипропилен порошкообразный, стабилизированный (по техническим условиям, утверждаемым в установленном порядке)	Материал отличается высокой стойкостью к воздействию минеральных кислот и щелочей даже при повышенных температурах, органических растворителей при комнатной температуре, но разрушается в дымящейся азотной кислоте, олеуме и растворах галогенов, при 80° С растворяется в ароматических углеводородах (бензоле, толуоле) и в галогенозамещенных углеводородах	От -10 до +100	—	Для газопламенного и вихревого напыления на поверхности стальной химической аппаратуры, предназначенной для работы со средами средней и повышенной агрессивности
Сополимер этилена с пропиленом стабилизированный (листы по техническим условиям, утверждаемым в установленном порядке)	Материал выгодно отличается от полиэтилена высокого давления более высокой теплостойкостью, механической прочностью, относительным удлинением при разрыве, а от полиэтилена низкого давления — большей эластичностью и мягкостью. Кроме того, сополимер этилена с пропиленом обладает высокой стойкостью к растрескиванию в агрессивных средах, значительно превышающей стойкость полиэтилена. Стабилизированный сополимер обладает пониженной склонностью к старению.	От -60 до +80	0,07	Обечайки, днища и другие детали сварной и клееной емкостной химической аппаратуры, изготавливаемой из листового материала в сочетании с металлическими каркасами, предназначенной для работы со средами средней и повышенной агрессивности
Сополимер этилена с пропиленом стабилизированный (трубы по техническим условиям, утверждаемым в установленном порядке)	Материал поддается различным методам переработки (экструзии, прессованию, литью под давлением), легко сваривается и склеивается. Сополимер этилена с пропиленом обладает высокой устойчивостью во многих агрессивных средах		1,0	Детали внутренних устройств и патрубки аппаратов того же назначения; трубопроводы химических производств
Полистирол (листы по МРТУ 6-11-32-65; плиты по ТУ 35ХП 356-61; трубы по ТУ МХП 1519-47)	Полистирол сваривается хуже, чем полиэтилен и полипропилен; прочность сварного шва составляет 40—50% от прочности основного материала. Полистирол склеивается специальным клеем. Материал поддается различным методам переработки (экструзии, прессованию, литью под давлением). Полистирол устойчив во многих агрессивных средах	До +75	0,07	Обечайки, днища и другие детали сварной и клееной химической аппаратуры, изготавливаемой из листового материала в сочетании с металлическими каркасами, предназначенной для работы со средами средней и повышенной агрессивности. Трубопроводы химических производств
Полистирол порошкообразный (по техническим условиям, утверждаемым в установленном порядке)			—	Для газопламенного и вихревого напыления на поверхности стальной химической аппаратуры, предназначенной для работы со средами средней и повышенной агрессивности

Продолжение табл. 4.1

Наименование, марка (ГОСТ или ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики материала	Условия применения		Примерное назначение
		$t_{em}, ^\circ C$	$P_p, \text{ Мн/м}^2$, не более	
Полиизобутилен без наполнителя и полиизобутилен с наполнителем марки ПСГ (листы по ТУ МХП 2987—52, с изм. 2 и 3)	<p>Мягкий, эластичный, каучукоподобный материал, обладающий хорошей адгезией к металлам, дереву и бетону. Материал легко сваривается в токе горячего воздуха (без применения присадочного материала) и легко склеивается как между собой, так и с различными конструкционными материалами.</p> <p>Полиизобутилен без наполнителя и полиизобутилен с наполнителем (марка ПСГ) обладает высокой химической стойкостью во многих агрессивных средах; материал неустойчив в минеральных и растительных маслах и других органических жидкостях при небольших давлениях (порядка $0,3 \text{ Мн/м}^2$).</p> <p>Полиизобутилен марки ПТ неэлектропроводен, полиизобутилены других марок электропроводны, что затрудняет контроль футеровки электрическими методами и не позволяет применять этот материал для антикоррозионной защиты аппаратов, работающих под электрическим напряжением (электролизеры и др.)</p>	До +100		<p>Футеровочный материал для защиты химической аппаратуры из стали, алюминия, дерева, бетона и других материалов от разрушающего воздействия агрессивных сред.</p> <p>Материал широко используется в качестве подслоя в комбинированных футеровках химической аппаратуры, в которых имеет место сочетание материалов неорганических и органических (например, футеровка с применением керамических плиток на подслое из полиизобутилена)</p>
Фторопласт-3 (МРТУ 6-05-946—65 с изм. № 1)	Тонкий лист и пленка из фторопласта-3 и фторопласта-3М прозрачны. Материал обладает высокой химической стойкостью во многих агрессивных средах, но разрушается под воздействием расплавленных щелочных металлов, расплавов едких щелочей, элементарного фтора, олеума	От —195 до +100		Тонкий лист и пленка используются в качестве смотровых стекол для окон и фонарей на аппаратах и трубопроводах для работы со средами средней и высокой агрессивности. Суспензия применяется для антикоррозионных покрытий стальной аппаратуры
Фторопласт-3М (МРТУ 6-05-905—63)		От —195 до +150		
Фторопласт-4 марки А (ГОСТ 10007—62): пластины по ВТУ 35-ХП-357—62; трубы по МРТУ 6-05-986—66; стержни по СТУ М 810—59 (с изм. 1, 2, 3; шланги по ТУ НИИПМ № 11-368—64)	Механические свойства фторопласта-4 существенно зависят от температуры. Под воздействием внешних нагрузок происходит рекристаллизация материала (явление хладотекучести). Необратимые остаточные деформации появляются при нагрузках выше 3 Мн/м^2 и температурах до $80-100^\circ C$. (Продолжение см. на стр. 182)	От —269 до +260		Детали внутренних устройств химических аппаратов для работы со средами средней и высокой агрессивности; трубопроводы химических производств

Наименование, марка (ГОСТ или ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики материала	Условия применения		Примерное назначение
		$t_{ст}, ^\circ C$	$P_p,$ Мн/м ² , не более	
Фторопласт-4 мар- ки А (ГОСТ 10007—62: пористые трубчатые фильтровальные эле- менты по МРТУ 6-05-985—66; пористые пластины по ВТУ № 11-50—66)	При закалке фторопласта-4 (на- греве материала до температуры плавления кристаллитов 327° С с последующим быстрым охлажде- нием) закрепляется аморфная структура материала, благодаря которой повышаются его проч- ность и эластичность. Фторопласт-4 обладает низким коэффициентом трения и низкой теплопроводностью. Из всех известных пластмасс фторопласт-4 является наиболее химически стойким материалом. Он противостоит воздействию раз- бавленных и концентрированных кислот, растворов щелочей, солей и самых сильных окислителей да- же при высоких температурах. На фторопласт-4 воздействуют только расплавленные щелочные металлы (или растворы их в аммиаке), эле- ментарный фтор при высокой тем- пературе и трехфтористый хлор. Материал не набухает в органи- ческих растворителях и не смачи- вается водой. Фторопласт не сваривается и склеивается с трудом	От —65 до +120	—	Детали аппаратов, предназ- наченных для очистки от осад- ков агрессивных растворов различных концентраций
Фторопласт-4Д (трубы по МРТУ 6-05-822—64 с изм. № 1, стержни и другие профильные из- делия)	Материал, изготовляемый из тонких листов лущеной древеси- ны (шпона), пропитанных и скреп- ленных между собой резольной фенолоформальдегидной смолой. Материал равнопрочен в двух осе- вых направлениях и может при- меняться в тех случаях, когда требуются одинаково высокие по- казатели прочности при растяже- нии, сжатии и изгибе. Древесно- слоистый пластик обладает хоро- шими антифрикционными свой- ствами и отличается высокой хи- мической стойкостью во многих агрессивных средах	От —269 до +260	—	Детали внутренних уст- ройств химических аппаратов для работы со средами средней и высокой агрессивности; тру- бопроводы химических произ- водств
Древесно-слоистый пластик марки ДСП-В (листы по ГОСТу 8697—58)	Материал, изготовляемый из тонких листов лущеной древеси- ны (шпона), пропитанных и скреп- ленных между собой резольной фенолоформальдегидной смолой. Материал равнопрочен в двух осе- вых направлениях и может при- меняться в тех случаях, когда требуются одинаково высокие по- казатели прочности при растяже- нии, сжатии и изгибе. Древесно- слоистый пластик обладает хоро- шими антифрикционными свой- ствами и отличается высокой хи- мической стойкостью во многих агрессивных средах	От —195 до +80	0,07	Детали тарелок ректифика- ционных колонн (листы, кол- пачки, стаканчики); вкладыши подшипников, втулки, шестер- ни и другие детали внутрен- них устройств химических ап- паратов для работы со средами средней и повышенной агрес- сивности
Материалы на основе каучука				
Резина марки 4849	Материалы на основе натураль- ного каучука (инструкция № 003—3). Резина отличается удовлетворительной прочностью, хорошей эластичностью и хоро- шим сопротивлением истиранию, высокой морозостойкостью и теп- лостойкостью, хорошей адгезией к металлам. Резина растворяется в бензине, бензоле, хлорированных углево- дородах и нестойка к маслам и озону	От —50 до +80	—	Материал для гуммирова- ния химической аппаратуры из углеродистой стали, чугуна, алюминия и его сплавов, пред- назначенной для работы со сре- дами средней и высокой агрес- сивности. Гуммирование про- изводится на подслое из эбо- нита
Эбониты марок 1726 и ИРП-1213	Материалы для наружного гуммирования химической ап- паратуры того же назначения			
Полуэбонит марки ИРП-1212	Материал применяется в ка- честве подслоя для эбонита марки ИРП-1213			

Продолжение табл. 4.1

Наименование, марка (ГОСТ или ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики материала	Условия применения		Примерное назначение
		$t_{ст}$, °C	P_p , Мк/м ² , не более	
Резины марок 1976-М и 4476	Материалы на основе натрийбу- тадиенового каучука (ГОСТ 2188—51). Резины отличаются хо- рошей эластичностью и хорошей адгезией к металлам, высокой мо- розостойкостью и теплостойко- стью. Резина марки 1976-М вулкани- зируется паром под давлением, а резина марки 4476 — открытым способом. Резины растворяются в бензи- не, бензоле, хлорированных угле- водородах и нестойки к маслам			Материалы для гуммирова- ния химической аппаратуры из углеродистой стали, чугу- на, алюминия и его сплавов, предназначенной для работы со средами средней и высокой агрессивности. Гуммирование производится через подслои эбонита марки 1814 термо- преновым клеем
Полуэбонит марки 1751	Материал для наружного гуммирования химической ап- паратуры того же назначения			
Эбонит марки 2109	Материал для гуммирова- ния пробковых кранов (трубо- проводная арматура)			
Резины марок 829 и 2566	Резины на основе натурального и натрийбутадиенового каучуков. Резины мягкие, способные вулкани- зироваться открытым способом, обладают хорошей адгезией к ме- таллу	От —40 до +80		Материалы для гуммирова- ния химической аппаратуры из углеродистой стали, чугуна, алюминия и его сплавов, пред- назначенной для работы со средами средней и высокой агрессивности. Гуммирование производится на подслое из эбонита марки 1814 термо- преновым клеем
Эбонит марки 1814	Употребляется в качестве подслоя под мягкие химически стойкие резины марок 829, 2566, 1976-М и 4476			
Резины марок ИРП-1025 и ИРП-1142	Резины на основе полихлоро- пренового каучука (наирита) по ТУ 1562—54. Резины хорошо со- противляются старению, не вос- пламеняются, стойки к действию масла и бензина, морозостойки до —30° С и теплостойки до 80° С; при хранении склонны к самовул- канизации и кристаллизации (для ликвидации последней применяет- ся подогрев)			От —30 до +80		Материалы для гуммирова- ния химической аппаратуры из стали и чугуна, предназна- ченной для работы со средами средней и высокой агрессив- ности. Резины крепятся к ме- таллу клеем 200 или клеем «лейконат»
Резина марки 8ЛТИ	Резина на основе бутадиенсти- рольного каучука (ГОСТ 6074—57), отличается эластич- ностью, хорошей сопротивляемо- стью истиранию, морозостойка до —40° С, теплостойка до 100° С. Резина растворяется в бензине, бензоле, хлорированных углево- дородах, нестойка к маслам	От —40 до +100				Материал для гуммирования химической аппаратуры из уг- леродистой стали и чугуна, предназначенной для работы со средами средней и высокой агрессивности. Резина крепит- ся к металлу клеем «лейконат»

Наименование, марка (ГОСТ или ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики материала	Условия применения		Примерное назначение
		$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	$P_p,$ Мн/м ² , не более	
Хлоропреновый жидкий каучук (жидкий наирит НТ)	Покрывание вулканизируется при 100° С. Резина в вулканизированном состоянии отличается хорошей механической прочностью и хорошей устойчивостью к истиранию, обладает хорошей щелочестойкостью и удовлетворительной кислотостойкостью, водостойкостью, бензо- и маслостойкостью и атмосферостойкостью. Материал удовлетворительно сопротивляется кислородному и тепловому старению, но обладает плохой радиационной устойчивостью	От -30 до +60		Материал для гуммирования химической аппаратуры из углеродистой стали, предназначенной для работы с кислотами и щелочами при температуре до 60° С
Раствор резиновой смеси марки ИРП-1257	Резины отличаются повышенной химической стойкостью к кислотам и щелочам	От -30 до +60		Гуммирование через хлорнаиритовый или эпоксидный грунт деталей, узлов и аппаратов сложной конфигурации малых размеров, предназначенных для работы с кислотами и щелочами при нормальных и повышенных температурах и подвергающихся динамическим нагрузкам
Раствор резиновой смеси марки ИРП-1258				
Углеродистые материалы				
Графит мелкодисперсный прессованный и пропитанный синтетическими смолами, конструкционный марок МГ; МГ-1; МГ-2 (ТУ 601—60)	Графит прессованный и пропитанный синтетическими смолами отличается благоприятным сочетанием свойств: высокой прочностью на сжатие в сочетании с высокой тепло- и температуростойкостью, высокой тепло- и электропроводностью и высокой химической стойкостью во многих агрессивных средах даже при высоких температурах. Материал хорошо обрабатывается резанием на обычных металлорежущих станках и склеивается синтетическими клеями и кислотоупорной замазкой арзамит 4 и кислото-щелочестойкой замазкой арзамит 5	От -18 до +150	0,5	Различные детали корпусов и внутренних устройств химических аппаратов для работы со средами средней и повышенной агрессивности: абсорберов и реакторов, применяемых в производствах бромистоводородной, плавиковой, фосфорной и хлоруксусной кислот, хлора, хлорбензола, тетра-хлорэтана и трихлорэтилена; баков и резервуаров, применяемых в производстве соляной кислоты, для хранения фторуксусных, фторбористых и фторфосфорных смесей в производстве плавиковой кислоты и других сред; отмывные колонны, применяемые в производствах соляной и бромистоводородной кислот; теплообменники для нагрева и охлаждения агрессивных сред в производствах серной кислоты, сернистого ангидрида, хлора, хлоратов и других высокоагрессивных химических продуктов
Графит мелкозернистый прессованный и пропитанный синтетическими смолами, конструкционный марок МГ-3 и МГЗ-Л (ТУ 601—60)				
Графит плотный прессованный конструкционный марки ППГ (ТУ 601—60)				
Графит электродный конструкционный марки ГЭЭ (ТУ 601—60)				
Графитированный материал марки АРВ, пропитанный в изделиях фенолоформальдегидной смолой (ПТУ 04—62)				

Продолжение табл. 4.1

Наименование, марка (ГОСТ или ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики материала	Условия применения		Примерное назначение	
		$t_{ст}, ^\circ\text{C}$	$P_p, \text{Мн/м}^2$, не более		
Графитопласт (антегмит) марки АТМ-1 (трубы по СТУ 45-ЦЧ-942—63)	Материал отличается от графита более высокой прочностью, непроницаемостью для жидкостей и газов по всему объему, но пониженной теплопроводностью. Антегмит марки АТМ-1 обладает высокой химической стойкостью во многих минеральных и органических кислотах, щелочах, растворах солей любых концентраций вплоть до высоких температур	От -18 до +115	0,3	Трубные пучки теплообменных аппаратов; патрубки аппаратов; трубопроводы химических производств для работы со средами средней и высокой агрессивности	
Графитопласт (антегмит) марки АТМ-1 (плитки футеровочные по ВТУ 367—58)			—	Футеровочный материал для антикоррозионной защиты стальной химической аппаратуры для работы со средами высокой агрессивности	
Графитопласт (антегмит) марок АТМ-1Г и АТМ-10 (по ТУ, утверждаемым в установленном порядке)	Материал отличается от антегмита АТМ-1 значительно более высокой теплостойкостью и теплопроводностью, меньшим коэффициентом температурного расширения и меньшей механической прочностью				Детали теплообменной аппаратуры для работы со средами высокой агрессивности; трубы и фасонные части к ним для трубопроводов химических производств; детали насосов для перекачки агрессивных жидкостей
Графитопласты литьевые марок НЛ; 2ФНЛ; 5ЭФНЛ (по ТУ, утверждаемым в установленном порядке)	Графитопласт марки НЛ стоек почти во всех кислотах, за исключением сильных окислителей. Графитопласт марки 2ФНЛ стоек в большинстве неокислительных кислотах, растворителях и растворах солей. Графитопласт марки 5ЭФНЛ стоек к кислотам и щелочным средам, органическим растворителям, спиртам и углеводородам		0,3		Крупногабаритные литьевые детали для химических аппаратов для работы со средами средней и повышенной агрессивности (корпуса поглотительных колонн, крышки аппаратов и др.). Литьевые плиты для футеровки ванн, сборников и различных сосудов
Угольный антифрикционный материал марок А0-600 и А0-1500	Материал обладает хорошими антифрикционными свойствами. Допустимая удельная нагрузка до 2 Мн/м^2 . Коэффициент трения после приработки равен 0,05				Вкладыши подшипников, уплотнительные кольца, детали торцовых уплотнений, работающие в условиях сухого трения в паре с чугуном
Графитированный антифрикционный материал марок АТ-600 и АТ-1500	Материал обладает хорошими антифрикционными свойствами. Допустимая удельная нагрузка до $1,5 \text{ Мн/м}^2$. Коэффициент трения после приработки равен 0,05				
Графитированный антифрикционный материал, пропитанный фенолоформальдегидной смолой марки АТ-1500-Ф	Материал отличается большей прочностью и более высоким значением допустимого удельного давления (до 10 Мн/м^2)			Вкладыши подшипников, уплотнительные кольца, детали торцовых уплотнений, работающие в условиях сухого трения в паре со сталью	

4.2. МЕХАНИЧЕСКИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

В табл. 4.2—4.8 приводятся некоторые данные по материалам, преимущественно применяемых в химическом аппаратостроении.

Таблица 4.2

Механические свойства неметаллических материалов неорганического происхождения [83, 91, 117, 205]

Наименование материалов	Предел прочности, Мн/м ²			Модуль упругости при растяжении E, Гн/м ²	Наименование материалов	Предел прочности, Мн/м ²			Модуль упругости при растяжении E, Гн/м ²
	σ_v	σ_{sv}	σ_{sv}			σ_v	σ_{sv}	σ_{sv}	
	не менее				не менее				
Андезит пористый	—	60	—	—	Керамика шамотно-бентонитовая пористая	3	21	—	—
Андезит плотный		80	14		Фарфор твердый кислотоупорный	20	150	50	
Бештаунит		160	19			Фарфор кислотоупорный	40	450	70	60
Гранит украинский			23		Бетон кислотоупорный		—	11	—	6
Кварцит карельский		260	—			Стекло силикатное	35	60	70	75
Базальт плавный		—	30		Стекло боросиликатное		70	130	—
Диабаз плавный		25	200			20	Стекло кварцевое	45	350	40	66
Керамика дунитовая	11,5	130	35	Эмаль кислотоупорная марки Э-1	62	924		—	—
Керамика кислотоупорная (плитки футеровочные)	6	20	23		42				

Таблица 4.3

Физические свойства неметаллических материалов неорганического происхождения [83, 91, 117, 205]

Наименование материалов	Плотность ρ , кг/м ³	Коэффициент линейного расширения $\alpha^t \cdot 10^6$, °C ⁻¹	Коэффициент теплопроводности λ , вт/(м·°C)	Пористость, %	Водопоглощаемость за 24 ч, %	
Андезит пористый	2200—2300	6,0	—	2,5—14,0	7,6	
Андезит плотный					2,5—6,0	
Бештаунит	2650	6,4	—	4,9—10,0	2,4	
Гранит украинский		5,0			0,5—1,0	0,3
Кварцит карельский		—			—	—
Базальт плавный	2900	5,0	2,17	0	0,15	
Диабаз плавный	2100—3000	10,0	0,99		0	

Продолжение табл. 4.3

Наименование материалов	Плотность ρ , кг/м ³	Коэффициент линейного расширения $\alpha^t \cdot 10^6$, °C ⁻¹	Коэффициент теплопро- водности λ , вт/(м·°C)	Пористость, %	Водопогло- щаемость за 24 ч, %
Керамика дунитовая	2200—2300	—	—	3—4	≤2,0
Керамика кислотоупорная	2000—2400	4,1—4,9	1,0—1,5	2—6	≤8,0
Керамика шамотно-бентонитовая пористая	1360—1500	—	—	39—47	—
Фарфор твердый кислотоупорный	2300—2500	2,5—4,5	0,82—1,0	≤1,0	≤0,8
Фарфор кислотоупорный					≤0,5
Бетон кислотоупорный	1600	8,0	0,81—1,1	—	—
Стекло силикатное	2600	0,5	6,7—9,0	3—4	
Стекло боросиликатное	2230	3,6	—	0	
Стекло кварцевое	2020—2080	0,27	1,75—4,0	3—4	
Эмаль кислотоупорная марки Э-1	2300—2500	30—33,5	0,93—1,22	0	

Таблица 4.4

Механические свойства неметаллических материалов органического происхождения
[13, 83, 91, 94, 117, 147, 162, 186, 199]

Наименование и марка материалов	Вид полуфабрикатов (ГОСТ, ТУ)	Предел прочности, Мн/м ²			a_n , кдж/м ³	Модуль упруго- сти при растяже- нии E , Гн/м ²	
		σ_b	σ_{ce}	σ_{ce}			
не менее							
Фаолит А	Листы отвержденные (ТУ ГХП 35—44)	17	38	50	20	80	
Фаолит Т							
Фаолит П	Прессованные изделия	12	58	50	3,0	—	
Фаолит А и Т	Трубы отвержденные (ТУ МХП 321—51)	25	70		1,4		
Текстолит ПТК	Листы (ГОСТ 5—62)	100	250	160	35,0	4	
Текстолит ПТ		85	230				145
Текстолит ПТ-1		65	200				120	25,0
Текстолит	Стержни (ГОСТ 5385—50)	40	—	100	—	—	
Асботекстолит А и Б	Плиты (МРТУ 6-05-898—63)	80 *	100 *	80 *	25,0	2,4	
Асбовинил	—	15	25	22	3,0	—	

Продолжение табл. 4.4

Наименование и марка материалов	Вид полуфабрикатов (ГОСТ, ТУ)	Предел прочности, Мн/м ²			α_n , кДж/м ²	Модуль упругости при растяжении E , Гн/м ²
		σ_e	σ_{ce}	σ_{ce}		
		не менее				
Винипласт ВН	Листы (ГОСТ 9639—61)	55	80	100	80,0	1,0
Винипласт ВНТ		45		90	50,0	—
Полиэтилен низкого давления	Трубы (МРТУ 6-05-918—67)	20	—	20	Не ломается	0,5 **
Полиэтилен высокого давления	Трубы (МРТУ 6-05-917—67)	10		12		0,1 **
Полипропилен ПП-1	Прессованные изделия из порошка (СТУ 36-13-126—65 с изм. № 1)	25	900	60	33,0	0,67 **
Сополимер этилена с пропиленом	—	17	—	17	—	—
Полистирол блочный	Плиты (ТУ 35ХП 356—61)	30	100	80	5,0	1,2
Полиизобутилен ПСГ	Пластина в рулонах (ТУ МХП 2987—52)	4,5	—	—	—	—
Фторопласт-3	Тонкий лист, пленка	30	25	60	20	1,2 **
Фторопласт-4	Прессованные изделия из порошка, закаленные (ТУ 810—59)	16	12	11	100	0,47 **
Древесно-слоистый пластик ДСП-В	Листы (ГОСТ 8697—58)	110	120	150	30	—
Графит марки МГ	Прессованные заготовки диаметром до 300 мм и длиной 240 мм	12	20	20	1,2	13
Графит марки МГ-1			23			
Графит марки МГ-2	25					
Графит марки МГ-3	То же, но диаметром до 500 мм и длиной до 1500 мм					
Графит марки ГМЗ-Л	То же, но диаметром до 600 мм					
Графит марки ППГ	То же, но диаметром до 300 мм и длиной до 280 мм					
Графит марки ГЭЭ	То же, но диаметром до 400 мм и длиной до 1500 мм					
Графитированный материал марки АРВ	Прессованные блоки размером 350×350×350 мм и др.					
Антегмит марки АТМ-1	Трубы (СТУ-45-ЦЧ-942—63)	18	100	40	2,75	—
Антегмит марки АТМ-1Г		6	45	20	1,6	
Антегмит марки АТМ-10		9	55	26	1,7	

Продолжение табл. 4.4

Наименование и марка материалов	Вид полуфабрикатов (ГОСТ, ТУ)	Предел прочности, Мн/м ²			$\sigma_{н'}$, кдж/м ²	Модуль упругости при растяжении E, Гн/м ²
		σ_{θ}	$\sigma_{с\theta}$	$\sigma_{и\theta}$		
Графитопласт литьевой НЛ	Крупногабаритные отливки	10	90	30		
Графитопласт литьевой 2ФНЛ		—	55	24		
Графитопласт литьевой 5ЭФНЛ		14,5	100	33		
Графитированный антифрикционный материал АО-600	Прессованные изделия	—	110	50	—	—
Графитированный антифрикционный материал АО-1500			150	60		
Графитированный антифрикционный материал АТ-600			60	35		
Графитированный антифрикционный материал АТ-1500			80	40		
Графитированный антифрикционный материал АТ-1500-Ф			150	70		

не менее

* Для образцов, вырезанных вдоль листа (по основе ткани).
 ** Модуль упругости при изгибе.

Таблица 4.5

Физические свойства неметаллических материалов органического происхождения [13, 83, 91, 94, 117, 135, 162, 186, 199]

Наименование и марка материалов	Плотность ρ , кг/м ³	Коэффициент линейного расширения $\alpha^l \cdot 10^6$, °C ⁻¹	Коэффициент теплопроводности λ , вт/(м·°C)	Водопоглощаемость за 24 ч, %	Теплостойкость по Маргенсу, °C	Температура плавления, °C	Морозостойкость, °C
Фаолит марки А	1500	20—30	0,29	0,3—1,8	135		
Фаолит марки Т	1650		1,05		126		
Фаолит марки П	1250		—		144		
Текстолит марки ПТК, ПТ, ПТ-1	1300—1400	20—40	0,21—0,34	0,35	125		
Асботекстолит марок А и Б	1700	17—25	0,51—0,59	—	150—250		
Асбовинил	1540—1640	33—40	0,151	0,5—1,0	150		
Винипласт и ВНТ марок ВН	1380—1450	65—85	0,167	0,4—0,6	65		

Продолжение табл. 4.5

Наименование и марка материалов	Плотность ρ , кг/м ³	Коэффициент линейного расширения $\alpha_f \cdot 10^6$, °C ⁻¹	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·°C)	Водопоглощаемость за 24 ч, %	Теплостойкость по Мартенсу, °C	Температура плавления, °C	Морозостойкость, °C
Полиэтилен низкого давления (высокой плотности)	940—960	100—200	0,419	0,04	120—140 *	120—139	До —70
Полиэтилен высокого давления (низкой плотности)	920—930	210—550	0,351		108—115 *	108—110	
Полипропилен	900	110	0,138	—	—	164—168	До —10
Сополимер этилена с пропиленом	940—950	100—550	0,262	0,01	113—128	114—125	До —70
Полистирол	1050—1100	60—100	0,085	0,03	—	—	—
Полиизобутилен ПБСГ	1320	—	0,332	0,08	100	—	—
Фторопласт-3	2090	60—120	0,059	0,0	—	208—210	До —195
Фторопласт-4	2150	80—250	0,250		110	327	До —269
Древесно-слоистый пластик ДСП-В	1300	—	—	5,0	—	—	—
Графит марки МГ	1500	3,6—4,0	94—117	—	170	—	—
Графит марки МГ-1	1550						
Графит марки МГ-2	1640						
Графит марки МГ-3	1560						
Графит марки МГЗ-Л	1500						
Графит марки ППГ	1700						
Графит марки ГЭЭ	1450						
Графитированный материал марки АРВ	1800						
Антегмит марки АТМ-1	1740	8,5	35—41	—	—	—	—
Антегмит марки АТМ-1Г		2,5	94—99	—	600	—	—
Антегмит марки АТМ-10		2,2	105—140	—	400	—	—
Графитопласт литьевой марки НЛ	1100—1200	—	—	—	—	—	—
Графитопласт литьевой марки 2ФНЛ	1300						
Графитопласт литьевой марки 5ЭФНЛ	1400						

Продолжение табл. 4.5

Наименование и марка материалов	Плотность ρ , кг/м ³	Коэффициент линейного расширения $\alpha^l \cdot 10^6$, °C ⁻¹	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·°C)	Водопоглощаемость за 24 ч, %	Теплостойкость по Мартенсу, °C	Температура плавления, °C	Морозостойкость, °C
Графитированный антифрикционный материал марки АО-600	1500—1600	2,6	87				
Графитированный антифрикционный материал марки АО-1500	1650—1700	2,5	93				
Графитированный антифрикционный материал марки АТ-600	1700—1800	2,7	188	—	—	—	—
Графитированный антифрикционный материал марки АТ-1500	1600—1700						
Графитированный антифрикционный материал марки АТ-1500-Ф	1750—1800						

* Теплостойкость по НИИПП.

Таблица 4.6

Физико-механические показатели резин, применяемых для гуммирования химической аппаратуры (по РТМ 26-01-18—67)

Марка резины	Плотность ρ , кг/м ³	Прочность σ_B , Мн/м ² , не менее	Удлинение, %		Твердость по твердому ТМ-2 (ГОСТ 263—53)	Время вулканизации при температуре 143° C, мин
			относительное, не менее	остаточное, не более		
4476	1150	5,5	150	15	52	80
2566	1060	15,0	600	35	36	30
1976-М	1140	6,0	225	20	56	
4849	1390	18,0	550	40	31	
829	1060	16,0	650	30	40—50	15
8ЛТИ		24,0	570	20	65—75	50—60
ИРП-1025	1480	10,0	364	8	74	30
Жидкий наирит НТ	1200—1400	11,0	200	2,5	73—76	1440
Раствор ИРП-1257 резиновой смеси	1340	11,7	560	12	54—58	90
Раствор ИРП-1258 резиновой смеси	1430	10,5	950	33	70±2	

Таблица 4.7

Физико-механические показатели эбонитов и полуэбонитов, применяемых для гуммирования химической аппаратуры (по РТМ 26-01-18-67)

Марка		Плотность ρ , кг/м ³	Теплостой- кость по Мартену, °С	Сопротивле- ние изгибу по ГОСТу 255-41 $\sigma_{из}$, Мн/м ²	Время вулканиза- ции при температуре 143° С, ч	Назначение эбонита и полуэбонита
Эбонит	Полуэбонит					
1814	—	1350	50—75	50—65	3	Подслой для резин марок 829, 2566, 1976-М и 4476 Для наружного гуммирования деталей и узлов химических аппа- ратов
1726		1120	72—75	94,6	4	
2109		1210	55	57,7	—	
ИРП-1213		—	—	—	2—2,5	
—		1751	1340	45—52	47		6
—	ИРП-1212	1220	—	—	1	Подслой для эбонита марки ИРП-1213

Таблица 4.8

Механические свойства пластмасс при низких и высоких температурах [117, 186]

Материал	Тем- пера- тура, °С	$\sigma_{в}$	$\sigma_{пл}$	δ , %	E , Гн/м ²	Материал	Тем- пера- тура, °С	$\sigma_{в}$	$\sigma_{пл}$	δ , %	E , Гн/м ²
		Мн/м ²						Мн/м ²			
Винипласт	-20	90	—	—	—	Полиэтилен высо- кого давления (низ- кой плотности)	-80	50	—	20	2,32
	0	72	26	8			-40	30	—	300	1,36
	20	50	19	20			0	15	—	500	0,30
	40	40	11	30			40	10	—	500	—
	60	32	4	60			50	—	—	—	0,09
	75	20	1,3	200			80	5	—	300	—
	100	4	—	350			—	—	—	—	—
Полиэтилен низко- го давления (высо- кой плотности)	-40	45	—	100	2,1	Фторопласт-4	-40	35,0	—	70	1,7
	0	35	—	400	1,0		-20	32,5	—	100	1,5
	40	29	—	1000	—		0	30,0	—	150	1,1
	50	—	—	—	0,16		20	20,0	—	470	0,7
	80	20	—	1800	—		40	18,0	—	650	0,45
	—	—	—	—	—		80	13,5	—	600	0,24
—	—	—	—	—	—	100	11,5	—	540	0,17	

4.3. СОРТАМЕНТ ПОЛУФАБРИКАТОВ И ИЗДЕЛИЙ ИЗ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

В табл. 4.9—4.32 приведен сортамент некоторых полуфабрикатов и изделий из неметаллических материалов, выпускаемых промышленностью.

Таблица 4.9

Сортамент листов и плит из неметаллических материалов [186, 188]

Наименование материала	Вид полуфабриката (ГОСТ или ТУ)	Размеры, мм			Допускаемые отклонения, мм	
		Толщина, <i>s</i>	Ширина, <i>b</i>	Длина, <i>l</i>	по толщине	по длине и ширине
Фаолит марок А и Т	Листы сырые и отвержденные (ТУ НКХП 322—45)	5—12	700—800	1800	±1,0 (при $S \leq 10$);	±50
				2000		
		5—15	700—1000	1600			±2,0 (при $S > 10$)
				1400		
				1200		
5—20		1000				
Винипласт марок ВН и ВНТ	Листы (ГОСТ 9639—61)	2—20	500—650	1300—1500	±(0,1+0,05S)	±5
Текстолит подолочный марок ПТК, ПТ и ПТ-1	Листы (ГОСТ 5—62)	0,5—8	По согласию сторон			
	Плиты (ГОСТ 5—62)	10—70				
	Плиты (ТУ ГХП 774—57)	>70				
Асботекстолит	Плиты (МРТУ 6-05-898—63)	6—30	400—800	600—1400	—	—
	Плиты (ВТУ УХП 183—60)	>100	1400	2400	—	±50
Древеснослоистый пластик марки ДСП-В	Листы (ГОСТ 8697—58)	1,0; 1,5; 2,0; 2,5	800; 900; 1000; 1100; 1200	700; 1000; 1500	±0,2	±25
		3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0		700; 1100; 1500; 2300; 4800; 5600	±0,5	
		10,0; 12,0		±1,0		
Фторопласт-4	Пластины (ВТУ 35-ХП-357—62)	2—3,5	170	170	±0,3	±5
			200 250 300	200 250 300		±10
		4—10	170 200 250 300 500	170 200 250 300 500	±0,9	±5 ±10 (при $b=l=170$); ±10 (при $b=l=200 \div 300$) ±20 (при $b=l=500$)
					±1,1	
					±1,3	
					±1,5	
Полиизобутилен ПСГ	Листы (ТУ МХП 2987—52 с изм. № 2 и 3)	2—2,5	800 1000	3000 10 000	—	—

Таблица 4.10

Рекомендуемый сортament стержней из текстолита
(по ГОСТУ 5385—50)

Диаметр, мм	Допускаемое отклонение по диаметру при нормальной точности изготовления, мм	Масса 1 м, кг
8	$\pm 0,5$	0,070
13	$\pm 0,7$	0,186
18	$\pm 1,0$	0,357
25		0,686
40	$\pm 1,5$	1,765
60	$\pm 2,0$	3,960

Примечания:
1. Стержни изготавливаются длиной от 200 до 500 мм.
2. По согласию сторон стержни могут изготавливаться других диаметров, не указанных в таблице.

Таблица 4.11

Рекомендуемый сортament стержней из винипласта
(по ТУ МХП 4251—54)

Диаметр, мм	Масса 1 м, кг
5	0,027
10	0,109
14	0,215
16	0,280
18	0,356
20	0,439
22	0,522
25	0,686
27	0,801
30	0,989
33	1,196
36	1,415
40	1,758
45	2,210

Примечания:
1. Стержни поставляются длиной от 1,5 до 3,0 м.
2. Допускаемые отклонения по наружному диаметру стержней $\pm 5\%$.

Таблица 4.12

Рекомендуемый сортament стержней из фторопласта-4 (по ТУ 810—59)

Диаметр, мм	Допускаемое отклонение на диаметр, мм	Масса 1 м, кг	Длина, мм
6	$\pm 0,7$	0,061	200
8		0,108	
10	$\pm 1,0$	0,168	390
13		0,286	
15		0,382	
20	$\pm 1,5$	0,675	
25		1,050	
30		1,528	
35		2,070	
40	$\pm 2,0$	2,700	
45		3,400	
50		4,200	
55		5,125	
60		6,102	
65	$\pm 2,5$	7,150	По согласию сторон
70		8,280	
75	9,500		
80	$\pm 3,0$	10,800	

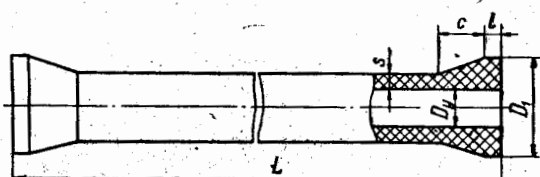
Примечания:
1. Для стержней диаметром < 55 мм допускаемое отклонение на длину ± 10 мм.
2. У стержней диаметром < 40 мм допускается кривизна до 10% от длины стержня.

Таблица 4.13

Рекомендуемый сортament круглых заготовок из конструкционного графита (по ТУ 601—60)

Марка материала	Диаметр	Длина
	мм	
МГ; МГ-1; МГ-2	94; 129; 159; 209; 279; 300	240
МГ-3	70—500	До 1500
ГМЗ-Л	250—600	—
ППГ	135; 165; 300	200—280
ГЭЭ	25—400	1500

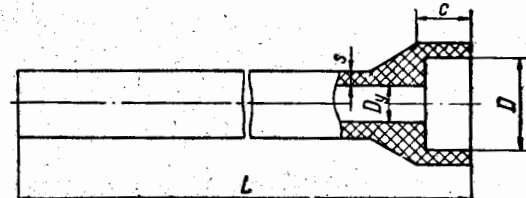
Таблица 4.14
Рекомендуемый сортамент труб с коническими фланцами из твердого фарфора [205]



D _y	s	D ₁	c	l	Масса 1 шт. (кг) при длине труб L (мм)			
					300	500	700	1000
25	10	65	30	10	1,08	1,61	2,14	2,94
30		70			1,29	1,90	2,51	3,42
40	12	90	45	10	1,71	2,65	3,59	5,00
50	15	110			1,60	3,08	4,56	6,78
80	18	150	53	15	3,25	5,85	8,45	12,35
100		170			5,45	8,65	11,85	16,65
150	20	230	60	15	11,88	17,00	22,12	29,80
200	25	300			75	20	19,72	28,20	36,68	39,40
250		350	26,62	37,00			47,38	62,85
300	27	405			32,70	46,00	59,30	79,25

Примечания:
1. Трубы предназначены для транспортирования кислот (за исключением плавиковой и фосфорной) любых концентраций температурой до +120° С и щелочей концентрацией до 2% и температурой до +30, С. Допустимое рабочее избыточное давление $p_p < 0,4$ Мн/м².
2. Для тех же условных проходов изготавливаются колена с коническими фланцами с углом 90 и 45°, тройники, крестовины и переходы.

Таблица 4.15
Рекомендуемый сортамент труб с раструбами из твердого фарфора [205]



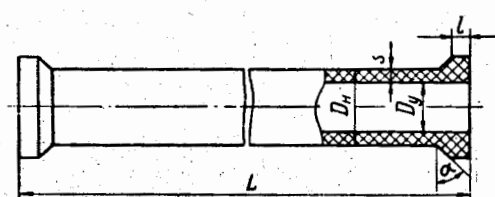
D _y	s	D	c	Масса 1 шт. (кг) при длине труб L (мм)			
				300	500	700	1000
25	10	60	35	1,12	1,65	2,18	2,98
30		70	40	1,34	1,95	2,56	3,47

Продолжение табл. 4.15

D _y	s	D	c	Масса 1 шт. (кг) при длине труб L (мм)			
				300	500	700	1000
40	10	80	40	1,65	2,40	3,15	4,28
50		90	50	2,00	2,90	3,80	5,15
80	12	125	60	3,65	5,30	6,95	9,42
100	14	155		5,85	8,25	10,65	14,25
150	15	205		8,17	11,90	15,63	21,23
200	18	265		13,25	19,10	24,95	33,72
250		315		15,93	23,20	30,47	41,38
300	20	370		18,36	28,00	37,64	52,16

Примечания:
1. Трубы предназначены для транспортирования кислот (за исключением плавиковой и фосфорной) любых концентраций температурой до +120° С и щелочей концентрацией до 2% и температурой до +30° С. Допустимое рабочее избыточное давление $p_p < 0,4$ Мн/м².
2. Для тех же условных проходов изготавливаются колена с раструбами с углом 30, 45, 60, 90, 120 и 135°, тройники и крестовины с раструбами под углом 90 и 45°.

Таблица 4.16
Рекомендуемый сортамент труб из фаялита марок А и Т (по МН 1251-61)



D _y , мм	D _n × s, мм	Допускаемые отклонения, мм		L	i	α, град	Масса 1 шт., кг	
		по наружному диаметру	по толщине стенки				Допустимое рабочее избыточное давление, Мн/м ² , не более	Допустимое рабочее избыточное давление, Мн/м ² , не более
32	50 × 8,5	±3	±2,0	2000 ⁺¹⁰ ₋₅₀	12 ⁺⁴	45 ± 2	4,2	0,47
50	76 × 11						8,3	0,40
80	102 × 12	±4	±2,5	15 ⁺⁵	20 ± 2	60 ± 2	12,5	0,24
100	125 × 12,5						16,8	
150	175 × 12,5	±7		1000 ⁺¹⁰ ₋₃₀	20 ⁺⁵	60 ± 2	12,5	

Продолжение табл. 4.16

D_y , мм	$D_n \times s$, мм	Допускаемые отклонения, мм		L	l	α , град	Масса 1 шт., кг	Допустимое рабочее избыточное давление среды, $МН/м^2$, не более
		по наружному диаметру	по толщине стенки					
200	225×12,5	±10	±2,5	1000 ⁺¹⁰ ₋₃₀	30 ⁺⁵	60±2	16,8	0,24
250	275×12,5						21,5	0,16
300	330×15						30,5	

Примечания:
 1. По МН 1252-61 — МН 1259-61 предусматривается выпуск деталей трубопроводов из фаялита марок А и Т — угольники прямые, тройники прямые и переходные, крестовины прямые и переходные, отводы двойные, переходы одно- и двухступенчатые условных проходов, соответствующих выпускаемым трубам.
 2. Склейка фаялитовых труб производится фаялитовой замазкой марки А по МРТУ 6-05-1003-66.

Продолжение табл. 4.17

D_y , мм	$D_n \times s$, мм	Допускаемые отклонения, мм		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гiba труб (по осевой линии), мм	Условное избыточное давление P_y , $МН/м^2$, не более	
		по наружному диаметру	по толщине стенки				
32	40×1,8	+0,9	+0,4	0,339	150	0,25	
	40×2,0			0,370		0,6	
	40×3,1			0,546		1,0	
40	50×2,0	+1,1	+0,4	0,468	180	0,25	
	50×2,4			+0,5		0,557	0,6
	50×3,9			+0,6		0,856	1,0
50	63×2,2	+1,3	+0,4	0,647	240	0,25	
	63×3,0			+0,5		0,863	0,6
	63×4,9			+0,7		1,350	1,0
70	75×2,5	+1,5	+0,5	0,883	330	0,25	
	75×3,6			+0,6		1,230	0,6
	75×5,8			+0,8		1,900	1,0
80	90×2,8	+1,7	+0,5	1,180	400	0,25	
	90×4,3			+0,7		1,760	0,6
	90×7,0			+0,9		2,730	1,0
100	110×3,2	+2,0	+0,5	1,630	500	0,25	
	110×5,3			+0,8		2,640	0,6
	110×8,5			+1,1		4,060	1,0
125	140×4	+2,4	+0,6	2,590	600	0,25	
	140×6,7			+0,9		4,210	0,6
	140×10,8			+1,3		6,540	1,0
150	160×4	+2,7	+0,6	2,960	800	0,25	
	160×7,7			+1,0		5,540	0,6
	160×12,4			+1,5		8,570	1,0

Примечания:
 1. Трубы поставляются длиной 5, 6 и 8 м с допускаемым отклонением от заказной длины ±50 мм. По согласованию сторон трубы могут поставляться длиной до 12 м.
 2. Допустимое рабочее давление равно условному давлению для температуры транспортируемой среды +20° С. При увеличении температуры транспортируемой среды и в зависимости от ее характера рабочее давление снижается по особым техническим условиям.
 3. По МН 1428-61, МН 1446-61 предусматривается выпуск деталей трубопроводов из винипласта (крестовины прямые, тройники прямые и переходные, угольники прямые, переходы, муфты, отводы с углом поворота 90° и 45°, компенсаторы и др.) на условное избыточное давление 0,2; 0,5; 0,6 и 1,0 $МН/м^2$.

Таблица 4.17

Рекомендуемый сортамент труб из винипласта (по нормальям машиностроения МН 1427-61 и 1444-61)

D_y , мм	$D_n \times s$, мм	Допускаемые отклонения, мм		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гiba труб (по осевой линии), мм	Условное избыточное давление P_y , $МН/м^2$, не более
		по наружному диаметру	по толщине стенки			
6	10×1,6	+0,5		0,067	30	1,0
10	16×1,6			0,115	45	0,6
	16×1,8	+0,6		0,126	60	1,0
15	20×1,6			0,146		0,25
	20×1,8			+0,4		0,160	0,6
	20×2,0	0,175	1,0			
20	25×1,6	+0,7		0,186	80	0,25
	25×1,8			0,205		0,6
	25×2,0			0,224		1,0
25	32×1,8	+0,8		0,267	110	0,25
	32×2,0			0,292		0,6
	32×2,5			+0,5		0,359	1,0

Таблица 4.18

Продолжение табл. 4.18

Рекомендуемый сортамент труб из полиэтилена
низкого давления (высокой плотности)
(по МРТУ 6-05-917-67)

D_y , мм	$D_H \times s$, мм	Допускаемые отклонения, мм		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гiba трубы* (по осевой линии), мм	Условное избыточное давление P_y , МПа/кгс
		по наружному диаметру	по толщине стенки			
6	10×1,6	+0,5	+0,4	0,04	40	0,6
	10×2,0		+0,5	0,05		1,0
10	16×1,6	+0,6	+0,4	0,08	65	0,25
	16×1,8		+0,5	0,09		0,6
	16×2,8			0,13		1,0
15	20×1,6		+0,4	0,10	80	0,25
	20×2,3		+0,5	0,13		0,6
	20×3,5		+0,7	0,18		1,0
20	25×1,6	+0,7	+0,4	0,12	100	0,25
	25×2,8		+0,6	0,20		0,6
	25×4,3		+0,8	0,28		1,0
25	32×1,8	+0,8	+0,5	0,19	130	0,25
	32×3,5		+0,7	0,32		0,6
	32×5,3		+1,0	0,45		1,0
32	40×2	+0,9	+0,5	0,28	160	0,25
	40×4,3		+0,8	0,49		0,6
	40×6,8		+1,2	0,71		1,0
40	50×2,5	+1,1	+0,6	0,41	200	0,25
	50×5,3		+1,0	0,75		0,6
	50×8,5		+1,5	1,10		1,0
50	63×3	+1,3	+0,7	0,59	250	0,25
	63×6,8		+1,2	1,21		0,6
	63×10,5		+1,8	1,73		1,0
70	73×3,5	+1,4	+0,7	0,82	300	0,25
	75×8		+1,4	1,71		0,6

D_y , мм	$D_H \times s$, мм	Допускаемые отклонения, мм		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гiba трубы* (по осевой линии), мм	Условное избыточное давление P_y , МПа/кгс
		по наружному диаметру	по толщине стенки			
80	90×4,3	+1,7	+0,9	1,18	360	0,25
	90×9,5		+1,5	2,39		0,6
100	110×5,3	+2,0	+1,0	1,76	440	0,25
	110×12		+2,0	3,68		0,6
125	140×6,8	+2,4	+1,2	2,86	560	0,25
150	160×7,5	+2,7	+1,3	3,60	640	

Примечания:

1. Трубы поставляются в прямых отрезках длиной 6, 8, 10 и 12 м с допуском ±50 мм или в бухтах (для $D_y < 40$ мм).

2. Выбор допустимого рабочего давления в зависимости от характера и температуры рабочей среды производится по табл. 4.20.

3. Рекомендуемая область применения полиэтиленовых труб указана в табл. 4.21.

4. По МН 3005-61-МН 3017-61 предусматривается выпуск деталей трубопроводов из полиэтилена низкого давления (высокой плотности) — крестовины прямые, тройники прямые, угольники прямые и с крепящим фланцем, муфты, переходы, футорки, ниппеля, гайки накидные, втулки резьбовые, буртовые и под фланцы, фланцы стальные условных проходов, соответствующих выпускаемым трубам.

* В горячем состоянии. При гибке труб в холодном состоянии минимальный радиус гiba увеличивается в 4,5 раза.

Таблица 4.19

Рекомендуемый сортамент труб из полиэтилена
высокого давления (низкой плотности)
(по МРТУ 6-05-918-67)

D_y , мм	$D_H \times s$, мм	Допускаемые отклонения, мм		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гiba трубы* (по осевой линии), мм	Условное избыточное давление P_y , МПа/кгс
		по наружному диаметру	по толщине стенки			
6	10×2	+0,5	+0,5	0,06	40	1,0
10	16×2	+0,6		0,09	65	
15	20×2			0,12	80	
20	25×2	+0,7	+0,6	0,16	100	0,6
	25×2,3			0,18		1,0

Продолжение табл. 4.19

D_u , мм	$D_N \times s$, мм	Допускаемые отклонения, мм		Масса 1 м, кг	Минимальный радиусгиба трубы* (по осевой линии), мм	Условное избыточное давление P_u , Мн/м ²	
		по наружному диаметру	по толщине стенки				
25	32×1,6	+0,8	+0,5	0,17	130	0,25	
	32×2			0,20		0,6	
	32×2,9			+0,6		0,29	1,0
32	40×1,6	+0,9	+0,5	0,21	160	0,25	
	40×2,3			0,29		0,6	
	40×3,7			+0,8		0,44	1,0
40	50×1,6	+1,1	+0,5	0,27	200	0,25	
	50×2,9			+0,6		0,45	0,6
	50×4,6			+0,9		0,68	1,0
50	63×1,8	+1,3	+0,5	0,38	250	0,25	
	63×3,6			+0,8		0,71	0,6
	63×5,8			+1,1		1,08	1,0
70	75×2	+1,4	+0,5	0,49	300	0,25	
	75×4,3			+0,9		1,06	0,6
	75×6,9			+1,2		1,53	1,0
80	90×2,1	+1,7	+0,5	0,62	360	0,25	
	90×5,1			+1,0		1,54	0,6
	90×8,2			+1,4		2,18	1,0
100	110×2,7	+2,0	+0,6	0,97	440	0,25	
	110×6,3			+1,2		2,14	0,6*
	110×10			+1,7		3,24	1,0

Продолжение табл. 4.19

D_u , мм	$D_N \times s$, мм	Допускаемые отклонения, мм		Масса 1 м, кг	Минимальный радиусгиба трубы* (по осевой линии), мм	Условное избыточное давление P_u , Мн/м ²	
		по наружному диаметру	по толщине стенки				
125	140×3,5	+2,4	+0,7	1,58	560	0,25	
	140×8			+1,4		3,44	0,6
	140×12,8			+2,1		5,26	1,0
150	160×4	+2,7	+0,8	2,06	640	0,25	
	160×9,1			+1,6		4,47	0,6
	160×14,6			+2,4		6,86	1,0
200	225×5,5	+3,7	+1,0	3,94	900	0,25	
	225×12,8			+2,1		8,80	0,6
250	280×6,9	+4,5	+1,2	6,15	1120	0,25	
300	315×7,7	+5,2	+1,4	7,75	1260		

Примечания:

1. Трубы поставляются в прямых отрезках длиной 6, 8, 10 и 12 м с допуском ± 50 мм или в бухтах (для $D_u < 32$ мм).

2. Выбор допустимого рабочего давления в зависимости от характера и температуры рабочей среды производится по табл. 4.20.

3. Рекомендуемая область применения полиэтиленовых труб указана в табл. 4.21.

4. По МН 3005—61 — МН 3017—61 предусматривается выпуск деталей трубопроводов из полиэтилена высокого давления (низкой плотности) — крестовины прямые, тройники прямые, угольники прямые и с крепежным фланцем, муфты, переходы, футорки, ниппеля, гайки накидные, втулки резьбовые, буртовые и под фланцы, фланцы стальные условных проходов, соответствующих выпускаемым трубам.

* В горячем состоянии. При гибке труб в холодном состоянии минимальный радиусгиба увеличивается в 3 раза.

Выбор допускаемого рабочего давления для труб из полиэтилена низкого и высокого давлений в зависимости от характера и температуры рабочей среды, [133]

Таблица 4.20

Материал труб	Рабочая среда	Температура, °С, не более	Допускаемое P_p , Мн/м ² , для условных давлений P_u , Мн/м ²		
			0,25	0,60	1,00
Полиэтилен низкого давления (высокой плотности)	Вода, инертные газы, негорючие и нетоксичные жидкости и пары, в которых материал химически стоек	20	0,25	0,60	1,00
		30	0,10	0,25	0,60
		40	—	0,10	0,25
		50	—	—	0,10

Продолжение табл. 4.20

Материал труб	Рабочая среда	Температура, °С, не более	Допускаемое p_D , Мн/м ² , для условных давлений p_U , Мн/м ²		
			0,25	0,60	1,00
Полиэтилен низкого давления (высокой плотности)	Продукты с токсическими свойствами, пожаро- и взрывоопасные жидкости и газы, в которых материал химически стоек и для которых непроницаем	20	0,10	0,25	0,60
		30	—	0,10	0,25
		40	—	—	0,10
	Негорючие и нетоксичные жидкости и пары, в которых материал условно стоек	20	0,10	0,25	0,60
		30	—	0,10	0,25
		40	—	—	0,10
Полиэтилен высокого давления (низкой плотности)	Вода, инертные газы, негорючие и нетоксичные жидкости и пары, в которых материал химически стоек	20	0,25	0,60	1,00
		30	0,20	0,50	0,80
		40	0,10	0,30	0,50
		50	0,05	0,16	0,30
		60	—	0,10	0,20
	Продукты с токсическими свойствами, за исключением сильнодействующих ядовитых веществ и дымящихся кислот; горючие (в том числе сжиженные) и активные газы, легко воспламеняющиеся и горючие жидкости, в которых материал химически стоек и для которых непроницаем	20	0,10	0,25	0,60
		30	0,05	0,20	0,40
		40	—	0,10	0,20
	Негорючие и нетоксичные жидкости и пары, в которых материал химически условно стоек	20	0,10	0,25	0,60
		30	0,05	0,20	0,40
		40	—	0,10	0,20

Таблица 4.21

Продолжение табл. 4.21

Рекомендуемая область применения полиэтиленовых трубопроводов в химических производствах [133]

Транспортируемые среды	D_y , мм	Рабочее избыточное давление p_D , Мн/м ²	Рабочая температура среды, °С
Растворы гипохлорита натрия и кальция	100—150	≤0,5	≤30
Растворы соляной и серной кислот; аммиачная вода	50—100	≤0,25	≤60
Слабые растворы серной, соляной и фосфорной кислот, известковое молоко; шлам; аммиачная вода	25—200	≤0,40	От -30 до +25

Транспортируемые среды	D_y , мм	Рабочее избыточное давление p_D , Мн/м ²	Рабочая температура среды, °С
Сернистый газ от скрубберов	200—300	0,03	≤40
Меловое молоко; пульпа; промывные и оборотные воды; травильные растворы	60—250	≤0,25	≤60
Травильные растворы солей металлов	50—200	0,1	≤40
Рассол хлористого натрия и хлористого кальция	30—100	≤0,5	≤20

Таблица 4.22

Рекомендуемый сортмент труб из фторопласта-4
(по МРТУ 6-05-986—66)

D_y , мм	$D_n \times s$, мм	Допускаемые отклонения, мм		Масса 1 м, кг
		по наружному диаметру	по толщине стенки	
50	58×4	4—7% (в пределах усадки)	±1,0	1,44
70	85×5		±1,25	3,87
100	112×6		±1,5	4,25
200	220×10		±2,0	14,00
300	324×12		±2,8	24,55
400	430×15		±3,0	41,50

Примечания:

1. Трубы изготавливаются длиной от 1 до 3,2 м.
2. Трубы размером 58×4 и 85×5 испытываются гидравлическим избыточным давлением $p_{из}$ = 0,5 Мн/м², трубы больших размеров — пневматическим избыточным давлением $p_{из}$ = 0,25 Мн/м².
3. Для труб размеров 58×4, 85×5 и 112×6 по ВТУ 11-54—67 из фторопласта-4 изготавливаются крестовины, тройники и отводы; для всех размеров труб по чертежам заказчика изготавливаются компенсаторы температурных деформаций трубопроводов.
4. По ТУ НИИПМ 11-368—64 из фторопласта-4 изготавливаются трубы или шланги размеров 8×1; 10×1; 18×1,5; 23×1,5 и 26×1,5 длиной от 0,3 до 15 м.

Таблица 4.23

Рекомендуемый сортмент труб
из термостойкого боросиликатного стекла
для напорных, безнапорных и вакуумных
трубопроводов химических производств
(по ГОСТу 8894—58)

D_y , мм	$D_n \times s$, мм	Допускаемые отклонения, мм		Масса 1 м, кг	Условия применения	
		по наружному диаметру	по толщине стенки		Рабочее избыточное давление, Мн/м ² (не более)	Допустимый перепад температуры, °С
40	45×4	—2	±1,0	1,15	0,7	80
60	68×5	—3		2,21	0,6	75
80	93×6	—4		3,66	0,5	70
100	122×7	—5		5,65	0,4	65

Примечания:

1. Трубы выпускаются длиной 1,5; 1,75; 2,0; 2,25; 2,5; 2,75 и 3,0 м.
2. Трубы предназначены для транспортирования горячих и холодных агрессивных жидкостей и газов (за исключением плавиковой кислоты), воды и других продуктов.
3. По ГОСТу 11192—65 предусматривается выпуск фасонных частей из термостойкого стекла для трубопроводов с указанными в таблице условными проходами — отступов, отводов под углом 15, 30, 45, 60, 75 и 90°, двойных отводов, тройников прямых и переходных, крестовин прямых и переходов.

* При испытании труб на термическую стойкость.

Таблица 4.24

Рекомендуемые размеры труб из графитопласта
(антегмита) марки АТМ-1 (по СТУ-45-ЦЧ-942—63)

D_y , мм	$D_n \times s$, мм	Масса 1 м, кг
15	21×3,5	0,26
20	23×3,5	0,29
	28×5	0,64
25	33×3,5	0,59
	37×3,5	0,98
32	42×5*	1,05
	48×6	1,45
40	52×6*	1,58
50	60×6	1,70
	63×6,5*	2,10
60	74×7*	2,67
70	85×7,5*	3,32
75	90×7,5*	3,55
80	98×9*	4,58
90	114×12*	7,00
100	125×12,5	7,95

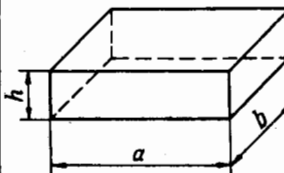
Примечания:

1. К трубам, отмеченным знаком *, выпускаются муфты, угольники, тройники и крестовины.
2. Трубы размеров 37×5,5; 48×6 и 60×6 изготавливаются длиной 6 м, остальных размеров — длиной 2 и 3 м.
3. Трубы из антегмита марок АТМ-1Г и АТМ-10 могут быть изготовлены по соглашению сторон.

Таблица 4.25

Сортмент кислотоупорного кирпича
(по ГОСТу 474—67)

Тип кирпича	a	b	h	h ₁
	мм			
Прямой	230	113	65	—



Продолжение табл. 4.25

Продолжение табл. 4.26

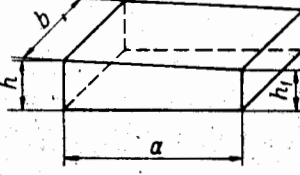
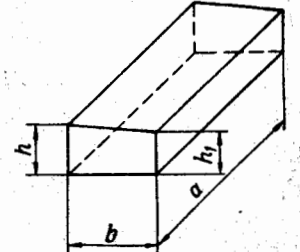
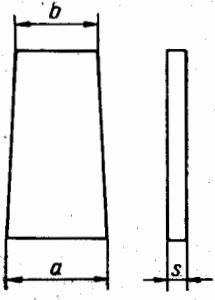
Тип кирпича	a	b	h	h ₁
	мм			
Клин торцовый двусторонний 				
Клин ребровый двусторонний 	230	113	65	55

Таблица 4.26

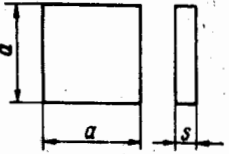
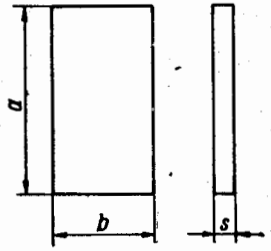
Рекомендуемые типоразмеры футеровочных керамических кислотоупорных (тип К) и термокислотоупорных (тип ТК) плиток (по ГОСТу 961—57)

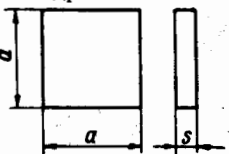
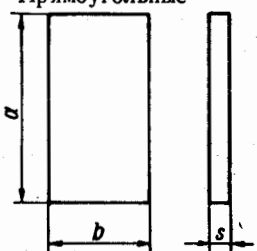
Тип плиток	a	b	h	s
	мм			
Клиновы 	50	44	100	30
	100	88	200	20; 30; 50
	150	125	175	
		135		
		140		
		145		
	175	150		
		155		
		160		
		165		
	170			

Примечания:
1. Плитки толщиной 10 мм изготавливаются только типа К.
2. Допускаемые отклонения от линейных размеров для плиток 1-го сорта составляют: для размеров < 100 мм — не более ±1 мм; для размеров > 100 мм — не более ±2%.

Таблица 4.27

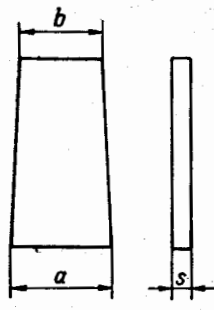
Рекомендуемый сортament футеровочных плиток для целлюлозноварочных котлов (по ГОСТу 11318—65)

Тип плиток	a	b	h	s
	мм			
Квадратные 	50	—	—	10
	100			10; 20
	150			20; 25; 30
	175			20; 30; 35; 50
	200			20; 30; 35; 50
Прямоугольные 	100	50	—	10; 20; 30; 50
	150	75		20; 25; 30; 50
	175			20; 30
	200	100		20; 30; 35; 50

Тип плиток	a	b	h	a	b	h
	мм			мм		
Квадратные 	100	—	—	175	—	—
	150			200		
Прямоугольные 	100	50	—	200	50	—
	150	75			100	
	175			230	113	

Продолжение табл. 4.27

Таблица 4.29

Тип плиток	a	b	h	a	b	h
	мм			мм		
Клиновые 	50	44	100	150	175	140
	75	67	150			135
	175	200	175			130
			173			125
			170			120
			165			115
	175	175	160			110
			170			105
			165			90
			160			80
			155	75	67	
	150	100	88	200		
	150	145	—	—	—	

Примечания:
 1. Лицевые плитки изготавливаются толщиной s , равной 30, 40 и 50 мм, подкладочные — толщиной 20 и 30 мм. В толщину плиток не входит высота рифления.
 2. Допускаемые отклонения от линейных размеров для плиток 1-го сорта составляют: для размеров ≤ 100 мм — не более ± 1 мм; для размеров > 100 мм — не более $\pm 1,5\%$.

Фильтрующие элементы из керамики и фторопласта-4

Материал	Вид элементов и сортамент (каталог, ТУ)	Краткая техническая характеристика и назначение
Кислотоупорная керамика (шамотно-бетонитовая масса)	Цилиндры высотой 250 мм и диаметрами $D_n/D_v = 120/70$ мм и $D_n/D_v = 90/50$ мм; диски диаметром 175 мм и толщиной 20 мм (каталог [205])	Фильтрующая керамика, из которой изготавливают элементы, в зависимости от размера пор обозначается № 21 (поры размером 50—60 мкм), № 32 (поры размером 85—100 мкм), № 43 (поры размером 110—130 мкм) и № 64 (поры размером 133—155 мкм). Элементы применяются для фильтрации кислотных сред любых концентраций (за исключением плавиковой и фосфорной кислот) температурой до $+350^\circ\text{C}$ и щелочных сред концентрацией до 10% и температурой до $+20^\circ\text{C}$
Фторопласт-4	Цилиндр пористый наружным диаметром 60 мм со сферическим утолщенным дном (МРТУ 6-05-985—66)	Фильтрующий элемент предназначен для очистки от осадков агрессивных растворов различных концентраций при температуре до $+120^\circ\text{C}$
	Пластины пористые размером 170×170 мм; 200×200 мм; 250×250 мм; 300×300 мм и толщиной от 3 до 50 мм (ВТУ 11-50—66)	Фильтрующие элементы предназначены для очистки от осадков агрессивных растворов различных концентраций в интервале температур от -65°C до $+120^\circ\text{C}$

Таблица 4.28

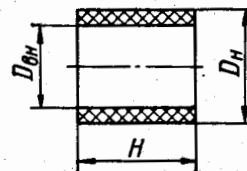
Рекомендуемый сортамент футеровочных плиток из графитопласта (антигмита) марки АТМ-1 [204]

Тип плиток	Толщина	Ширина	Длина	Масса 1 м, кг
	мм			
Гладкие	10	125	90—1000	2,4
		120	2000	2,3
С выступами «ласточкин хвост»	13	125	90—1000	2,7

Примечание. Допускаемое отклонение по толщине и по ширине $\pm 0,5$ мм.

Таблица 4.30

Рекомендуемый сортамент насадочных колец Рашига



Материал	ГОСТ или ТУ на изделия	D_n	$D_{вн}$	H
		мм		
Керамика кислотоупорная	ГОСТ 748—67	25	—	25
		50	—	50
		80	—	80
		100	—	100
		120	—	120
		150	—	150

Продолжение табл. 4.30

Материал	ГОСТ или ТУ на изделия	D_H	$D_{вн}$	H
		мм		
Полуфарфор	ГОСТ 8261—56	15		15
		25	—	25
		50		50
Фторопласт-4	ТУ 810—59		40	5—100
			50	
			75	
			100	
			200	
			300	
	400			

Продолжение табл. 4.31

D_H	$D_{вн}$	D_H	$D_{вн}$	D_H	$D_{вн}$
150±5,0	30±2,0	170±6,0	100±4,0	300—8,0	220+8,0
	48±2,5		145±5,0		240+8,0
	98±4,0		150±5,0		280+8,0
	100±4,0	200±6,0	90±4,0	360—10,0	300+8,0
	120±4,0		120±4,0		340+10,0
	125±5		125±5,0		350+10,0
160±6,0	50±2,5	210±8,0	172±6,0	410—12,0	350+10,0
	90±4,0			270±8,0	460—12,0	400+10,0
170±6,0	50±2,5	280±8,0	200±6,0	500—12,0	440+12,0
	80±3,0		230±8,0	560—12,0	500+12,0

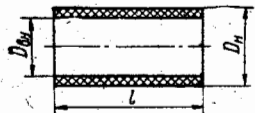


Таблица 4.31

Рекомендуемый сортамент втулок и колец из фторопласта-4 (по ТУ 810—59)

D_H	l
< 200	25—100
210—280	25—70
300	10—30
360	< 100
400—500	15—100

D_H	$D_{вн}$	D_H	$D_{вн}$	D_H	$D_{вн}$	
мм		мм		мм		
37±1,5	20±1,5	70±3,0	28±2,0	95±4,0	45±2,5	
45±2,5			30±2,0		50±2,5	
50±2,5	25±2,0		75±3,0	35±2,0	100±4,0	60±2,5
		20±1,5		105±4,0	30±2,5	
		28±2,0		80±3,0		
		35±2,0		120±4,0	90±4,0	
55±2,5	25±2,0	80±3,0	48±2,5	130±5,0	30±2,0	
			50±2,5		48±2,5	
60±2,5	25±2,0	85±4,0	20±1,5	140±5,0	78±3,0	
					28±2,0	30±2,0
					35±2,0	48±2,5
					48±2,5	55±2,5
65±3,0	30±2,0	90±4,0	65±3,0	140±5,0	78±3,0	
		95±4,0	32±2,0		130±5	

Таблица 4.32

Рекомендуемый сортамент дисков из фторопласта-4 (по ТУ 810—59)

Диаметр	Допускаемое отклонение на диаметр	Толщина
мм		
260	±8	≤60
270		
300	—8	
350	—10	
400		
460	—12	4—20
500		
560		

ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Продолжение табл. 5.1

В химическом аппаратостроении лакокрасочным антикоррозионным покрытиями подвергается преимущественно аппаратура из углеродистой стали и чугуна. Аппаратура из высоколегированных сталей и цветных металлов и сплавов, как правило, лакокрасочным покрытиям не подвергается.

В ряде случаев медную и алюминиевую аппаратуру покрывают снаружи бесцветным лаком, а алюминиевую аппаратуру — также и эмальями для придания ей товарного вида.

Выбор лакокрасочного покрытия стальной и чугунной химической аппаратуры определяется:

1) степенью агрессивности воздействия окружающей среды на изделие и условиями эксплуатации его;

2) требованиями качества отделки поверхности изделия;

3) цветом покрытия.

По МН 4200—62 предусматриваются четыре класса покрытий (табл. 5.1). Класс покрытия, характеризующий качество отделки поверхности, выбирается в зависимости от назначения изделия, условия и места эксплуатации его.

К изделиям, предназначенным на экспорт, особенно в страны с тропическим климатом, предъявляются высокие требования к качеству отделки поверхности (классы I и II). Для химической аппаратуры внутрисоюзных поставок обычно применяют IV класс отделки поверхности и реже III класс.

Для химической аппаратуры рекомендуются следующие цвета покрытий:

серый — для наружных поверхностей химической аппаратуры, машин и другого оборудования;

серебристо-алюминиевый — для наружных поверхностей химической аппаратуры и другого оборудования, подвергающихся в условиях эксплуатации нагреванию не выше 200° С;

черный — для наружных поверхностей кожухов химических печей, фундаментных, рам машин, рабочих площадок для обслуживания, внутренних поверхностей крупногабаритной химической аппаратуры;

бесцветные лаки — для антикоррозионных покрытий внутренних полостей и декоративных покрытий наружных поверхностей химической аппаратуры.

Классификация лакокрасочных покрытий по условиям эксплуатации химической аппаратуры приведена в табл. 5.2, выбор лакокрасочных материалов в зависимости от условий эксплуатации химической аппаратуры — в табл. 5.3 и 5.4. Ориентировочные нормы расхода некоторых лакокрасочных материалов приведены в табл. 5.5.

Таблица 5.1

Классификация лакокрасочных покрытий по их внешнему виду [134]

Классы покрытий	Характеристика внешнего вида покрытия	Чистота поверхности по ГОСТу 2789—59	
		под покрытия без шпаклевки	под покрытия со шпаклевкой
I	Поверхность ровная, гладкая, однотонная. Не допускаются дефекты поверхности, видимые без применения увеличительных приборов	▽7—▽5	▽2—▽1

Классы покрытий	Характеристика внешнего вида покрытия	Чистота поверхности по ГОСТу 2789—59	
		под покрытия без шпаклевки	под покрытия со шпаклевкой
II	Поверхность ровная, гладкая, однотонная или с характерным рисунком. Допускаются отдельные малозаметные без применения увеличительных приборов соринки, следы зачистки, риски, штрихи и пр. Ресунчатые покрытия (молотковые, муар и т. п.) должны иметь четкий рисунок без непроявленных участков	▽5—▽4	1500 ▽
III	Поверхность однотонная, гладкая или с характерным рисунком. Допускаются отдельные заметные без применения увеличительных приборов соринки, следы зачистки, риски и штрихи, а также неровности, связанные с состоянием окрашиваемой поверхности до окраски	▽	▽
IV	Поверхность однотонная или с характерным рисунком. Допускаются неровности, связанные с состоянием окрашиваемой поверхности, и другие дефекты, видимые без применения увеличительных приборов, не влияющие на защитные свойства покрытий	▽	▽

Примечания:

1. По III и IV классам покрытий шероховатость поверхности под знаком ▽ указывается конструктором в соответствии с техническими условиями на изделие.

2. Для изделий, работающих в условиях вибрации, шпательвание не допускается.

3. Для изделий, предназначенных для эксплуатации в тропических условиях, суммарная толщина шпаклевки допускается не более 0,5 мм.

Таблица 5.2

Продолжение табл. 5.2

Классификация лакокрасочных покрытий в зависимости от условий эксплуатации химической аппаратуры [134]

Группы покрытий	Обозначение группы	Климат	Условия эксплуатации аппаратуры
Атмосферостойкие	А	Умеренно континентальный	Воздействие солнечной радиации, осадков, промышленных газов и пыли, морской атмосферы. Температура в пределах $\pm 60^{\circ}\text{C}$, относительная влажность до 95% при $+25^{\circ}\text{C}$
	АТ	Тропический влажный	Воздействие влажного тропического климата — высокой относительной влажности с повышенной температурой, солнечной радиации, осадков, морской атмосферы. Воздействие биологических факторов (грибковая плесень, термиты), росы. Температура от $+45$ до -10°C , относительная влажность до 95%, среднее изменение температуры за 8 ч 10°C
		Тропический сухой	Воздействие сухого тропического климата — высокой температуры и сильной солнечной радиации при низкой относительной влажности. Воздействие биологических факторов, колебаний температуры, песка и пыли. Температура от $+55$ до -10°C , относительная влажность 20% при $+40^{\circ}\text{C}$, среднее изменение температуры за 8 ч 25°C
Стойкие внутри помещений	П	Умеренно континентальный	Нормальные условия в отапливаемых и вентилируемых помещениях. Температура воздуха $25 \pm 10^{\circ}\text{C}$, относительная влажность $65 \pm 15\%$ при $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$

Группы покрытий	Обозначение группы	Климат	Условия эксплуатации аппаратуры
Стойкие внутри помещений	ПТ	Тропический	Воздействие высокой температуры и повышенной влажности, воздействие биологических факторов (грибковая плесень). Отсутствие солнечной радиации, осадков, пыли, резких колебаний температуры. Температура до $+55^{\circ}\text{C}$, относительная влажность 90—95%
Химически стойкие	Х	Умеренно континентальный	Воздействие атмосферы, содержащей агрессивные газы и пары химических и других производств
			Воздействие растворов кислот
		ХЩ	Воздействие растворов щелочей
	ХТ	Тропический	Воздействие атмосферы, содержащей агрессивные газы и пары химических и других производств. Дополнительное воздействие повышенной температуры ($+55^{\circ}\text{C}$) и повышенной влажности (до 95%) во время транспортировки, хранения и монтажа
Воздействие растворов кислот. Дополнительное воздействие повышенной температуры (до $+55^{\circ}\text{C}$) и повышенной влажности (до 95%) во время транспортировки, хранения и монтажа			
ХКТ			

Продолжение табл. 5.2

Группы покрытий	Обозначение группы	Климат	Условия эксплуатации аппаратуры
Химически стойкие	ХЩТ	Тропический	Воздействие растворов щелочей. Дополнительное воздействие повышенной температуры ($+55^{\circ}\text{C}$) и повышенной влажности (до 95%) во время транспортировки, хранения и монтажа
Водостойкие	В	Умеренно континентальный	Воздействие пресной воды
	ВМ		Воздействие морской воды
	ВТ	Тропический	Воздействие пресной воды. Дополнительное воздействие повышенной температуры (до $+55^{\circ}\text{C}$) и повышенной влажности (до 95%) во время транспортировки, хранения и монтажа
	ВМТ		Воздействие морской воды. Дополнительное воздействие повышенной температуры (до $+55^{\circ}\text{C}$) и повышенной влажности (до 95%) во время транспортировки, хранения и монтажа
Безостойкие	Б	Умеренно континентальный	Воздействие бензина, керосина и других нефтяных продуктов, содержащих не более 30% ароматических соединений

Продолжение табл. 5.2

Группы покрытий	Обозначение группы	Климат	Условия эксплуатации аппаратуры
Безостойкие	БТ	Тропический	Воздействие бензина, керосина и других нефтяных продуктов, содержащих не более 30% ароматических соединений. Дополнительное воздействие повышенной температуры (до $+55^{\circ}\text{C}$) и повышенной влажности (до 95%) во время транспортировки, хранения и монтажа
Маслостойкие	М	Умеренно континентальный	Воздействие минеральных масел и консистентных смазок
	МТ	Тропический	Воздействие минеральных масел и консистентных смазок. Дополнительное воздействие повышенной температуры (до $+55^{\circ}\text{C}$) и повышенной влажности (до 95%) во время транспортировки, хранения и монтажа
	Т°	Умеренно континентальный	Воздействие повышенной температуры (от $+60$ до $+500^{\circ}\text{C}$)
Термостойкие	Т°Т	Тропический	Воздействие повышенной температуры (от $+60$ до $+500^{\circ}\text{C}$). Дополнительное воздействие повышенной температуры (до $+55^{\circ}\text{C}$) и повышенной влажности (до 95%) во время транспортировки, хранения и монтажа

Таблица 5.3:

Выбор лакокрасочных покрывных материалов в зависимости от условий эксплуатации химической аппаратуры [134]

Наименование покрытия (ГОСТ или ТУ)	Цвет	Группа покрытия	Характеристика покрытия и способ его нанесения
Перхлорвиниловые покрытия			
Эмаль ХСЭ-25 (ТУ МХП 2289—50)	Черный	Х, ХТ, ХК, ХКТ, ХЩ, ХЩТ, А, АТ, П, ПТ, В, ВТ	Стойкое в атмосфере, содержащей агрессивные газы химических и других производств; при длительном воздействии слабых растворов минеральных кислот, щелочей и солей при нормальной температуре. Стойкое в морской атмосфере; при одновременном воздействии повышенной влажности и повышенной температуры (тропический климат); при периодическом воздействии минерального масла, бензина, морской и пресной воды при нормальной температуре; при периодическом воздействии температуры не выше 60° С. Наносится распылением по грунту
Эмаль ПХВ-512 (ТУ МХП 3560—52)	Зеленый	Х, ХТ, А, АТ, П, ПТ, В, ВТ	Обладает высокой атмосферостойкостью. Стойкое в условиях морской атмосферы; при одновременном воздействии повышенной влажности и повышенной температуры (тропический климат); атмосферы, загрязненной газами химических и других производств. Эмаль ПХВ-512 является стойкой также при кратковременном воздействии слабых минеральных кислот и щелочей, периодическом воздействии минерального масла, бензина при нормальной температуре; при недлительном воздействии пресной воды при нормальной температуре. Покрытия стойкие при периодическом воздействии температуры не выше 60° С. Наносятся распылением по грунту
Эмаль ХВ-124 (ГОСТ 10144—62)	Серый		
Эмаль ХСЭ-23 (ГОСТ 7313—55)	Серый	Х, ХК, ХЩ, А, П, В	Стойкое в атмосфере, содержащей агрессивные газы химических и других производств, при длительном воздействии слабых растворов минеральных кислот, щелочей и солей при нормальной температуре. Обладает высокой атмосферостойкостью. Стойкое в морской атмосфере; при периодическом воздействии минерального масла, бензина, морской и пресной воды при нормальной температуре; при периодическом воздействии температуры не выше 60° С. Наносится распылением по грунту
Лак ХСЛ (ГОСТ 7313—55)	Бесцветный	Х, ХК, ХЩ, П, В	Стойкое при воздействии агрессивных газов химических и других производств; при длительном воздействии слабых растворов минеральных кислот, щелочей и солей при нормальной температуре; при длительном воздействии пресной воды и периодическом воздействии минерального масла, бензина и морской воды при нормальной температуре; при периодическом воздействии температуры не выше 60° С. В комплексном покрытии с эмалями ХСЭ-25 и ХСЭ-23 увеличивает химическую стойкость и придает эмалям глянец. Лак наносится распылением по грунту

Наименование покрытия (ГОСТ или ТУ)	Цвет	Группа покрытия	Характеристика покрытия и способ его нанесения
Покрытие А: лак ХВ-77 (ТУ 35-ХП-694-64) с же- лезным суриком (ГОСТ 8135-62) с соволом (ТУ БУ19-56) и лаком «Этиноль» (ТУ $\frac{966-3465-57}{1267-57}$)	Красно- коричневый	ХК, ХЩ, В, М, Б	Стойкое при длительном воздействии при тем- пературе от -40 до $+60^{\circ}\text{C}$ бензина с содержа- нием до 30% ароматических углеводородов, серни- стой нефти, минерализированной воды, влаж- ного сероводорода, меркаптана, неочищенных ди- стиллятов, разбавленных минеральных кислот, щелочей и масла. Приготавливается на месте произ- водства работ путем смешения компонентов и на- носится распылением и кистью
Лак ПХВ-52 (ТУ МХП 3559-52)	Бесцветный	Х, А, П	Нанесение лака ПХВ-52 по эмали ПХВ-512 по- вышает стойкость ее при воздействии агрессив- ных газов химических и других производств, при периодическом воздействии слабых растворов ми- неральных кислот, бензина, воды, минерального масла при нормальной температуре. Стойкое при периодическом воздействии температуры не выше 60°C . Наносится распылением по эмали ПХВ-512
Лак ХСЛ (ГОСТ 7313-55) с алюминиевой пудрой ПАК-3 или ПАК-4 (ГОСТ 5494-50)	Серебри- стый	А, П, В	Атмосферостойкое. Стойкое в условиях морской атмосферы, при периодическом воздействии ми- нерального масла, бензина, пресной и морской воды при нормальной температуре; при периоди- ческом воздействии температуры не выше 60°C . Эмаль и лак наносятся распылением по грунту
Эмаль ПХВ-23 (ГОСТ 6993-54)	Серый	А, П	
Эпоксидные покрытия			
Эмаль ОЭП-4171-1 (ТУ ЯН-21-57 с доп. № 1)	Зеленый	ХЩ, ХЩТ, П, ПТ, В, ВТ, Б, БТ, М, МТ	Стойкое против 40%-ного раствора щелочи при температуре до 100°C . Стойкое при одновремен- ном воздействии повышенной влажности и повы- шенной температуры (тропический климат) без воздействия солнечной радиации и дождя; при длительном воздействии минерального масла, бензина и воды при нормальной температуре. На- носится распылением и кистью по грунту и без грунта
Лак Э-4100 (ТУ ЯН-35-58 с изм. № 1)	От светлого до темно- коричневого	ХЩ, П, В	Стойкое при длительном воздействии горячих растворов щелочи ($100-130^{\circ}\text{C}$), при длительном воздействии воды при температуре до 30°C . На- носится распылением и окунанием
Дивинилацетиленовые покрытия			
Лак «Этиноль» (ТУ $\frac{966-3465-57}{1267-57}$)	Бесцветный	ХК, ХЩ, ВМ, В	Покрытие на основе лака «этиноль» с асбестом (асбовинил) стойкое при длительном воздействии растворов серной, соляной, азотной, фосфорной кислот и щелочей; при длительном воздействии морской и пресной воды. Лак «этиноль» (без напол- нителя) стойкий при длительном воздействии морской и пресной воды. Лак токсичен и огнеопасен

Продолжение табл. 5.3

Наименование покрытия (ГОСТ или ТУ)	Цвет	Группа покрытия	Характеристика покрытия и способ его нанесения
Фенольные покрытия			
Лак бакелитовый А (ГОСТ 901—56)	Красно- ва- тый	ХК, П	Стойкое при недлительном воздействии растворов минеральных кислот, солей и ряда органических растворителей. Хрупкое, со слабой адгезией к металлу; адгезия улучшается при введении в лак наполнителя (графита, андезитовой муки, каолина, алюминиевой пудры). Покрытие на основе лака бакелитового А с алюминиевой пудрой устойчиво при воздействии бензина, нефти, горячей воды и минерального масла при температуре масла до 150° С. Наносится распылением и кистью без грунта
Эмаль Б-241/16 (ТУ ЯН-165—69)	Красно- коричневый	П, ПТ, Б, БТ, В, ВТ, М ₁₅₀ , М ₁₅₀ Т	Стойкое при длительном воздействии бензина и нефти при нормальной температуре, минерального масла при температуре масла до 150° С; при одновременном воздействии повышенной температуры и повышенной влажности (тропический климат) без воздействия солнечной радиации и дождя; при периодическом воздействии температуры не выше 150° С. Наносится распылением, кистью, окунанием по грунту Б-241/3
Поливинилбутиральные покрытия			
Эмаль ВЛ-515 (ТУ УХП 138—59 с изм. № 1)	Красно- коричневый	П, ПТ, Б, БТ, В, ВТ, М ₁₅₀ , М ₁₅₀ Т	Стойкое при длительном воздействии бензина и нефти при нормальной температуре, минерального масла при температуре масла до 150° С; против горячей воды, дезинфицирующего раствора формальдегида. Стойкое при одновременном воздействии повышенной температуры и повышенной влажности (тропический климат) без воздействия солнечной радиации и дождя; при периодическом воздействии температуры не выше 150° С. Наносится распылением, кистью и окунанием как по грунту, так и без грунта
Лак АО (ТУ МХП 2562—51) с алюминиевой пудрой ПАК-3 или ПАК-4 (ГОСТ 5494—50)	Серебри- стый	А, В, Б, М ₁₅₀ , Т ₂₈₀	Стойкое при длительном воздействии бензина и нефти при температуре до 170° С и минерального масла при температуре масла до 150° С; при длительном воздействии воды при нормальной температуре; при длительном воздействии температуры до 280° С на стали и алюминиевых сплавах. Наносится распылением по грунту и без грунта. Лак рекомендуется по фосфатированной и кадмированной стали, анодированным или химически оксидированным алюминиевым сплавам

Наименование покрытия (ГОСТ или ТУ)	Цвет	Группа покрытия	Характеристика покрытия и способ его нанесения
Кремнийорганические покрытия			
Эмаль 9: лак КО-815 (ГОСТ 11066—64) с алюминиевой пудрой ПАК-3 или ПАК-4 (ГОСТ 5494—50)	Серебристый	А, АТ, П, ПТ, $M_{120}, M_{120}T,$ $T_{400}, T_{400}T$	Покрытие стойкое при длительном воздействии температуры до 400°С и при периодическом — до 550°С. Атмосферостойкое, стойкое при одновременном воздействии повышенной температуры и повышенной влажности (тропический климат); при воздействии минерального масла при температуре до 120°С. Наносится распылением без грунта для термостойких и маслостойких покрытий и по грунту — для атмосферостойких покрытий
Глифталевые покрытия			
Лак ГФ-95 и лак КФ-95 (ГОСТ 8018—56) с алюминиевой пудрой ПАК-3 или ПАК-4 (ГОСТ 5494—50)	Серебристый	А, АТ, П, ПТ, $M_{120}, M_{120}T, T_{300},$ $T_{300}T$	Стойкое при длительном воздействии температуры до 300°С и при периодическом — до 400°С. Покрытие высокой атмосферостойкости, стойкое при одновременном воздействии повышенной температуры и повышенной влажности (тропический климат); при длительном воздействии минерального масла при температуре до 120°С. Наносится распылением без грунта для термостойких и маслостойких покрытий и по грунту — для атмосферостойких покрытий
Пентафталевые покрытия			
Эмаль АЛ-70 жаростойкая (ТУ МХП КУ 312—53)	Серебристый	А, П, ПТ, $M_{120},$ $M_{120}T, T_{300}, T_{300}T$	Стойкое при длительном воздействии температуры до 300°С и при периодическом — до 400°С. Покрытие высокой атмосферостойкости, стойкое при одновременном воздействии повышенной температуры и повышенной влажности (тропический климат) без воздействия солнечной радиации и дождя; при длительном воздействии минерального масла при температуре до 120°С. Наносится распылением без грунта для термостойких и маслостойких покрытий и по грунту — для атмосферостойких покрытий
Эмаль ПФ-115 (ГОСТ 6465—63)	Темно-зеленый; черный	А, П, ПТ	Атмосферостойкое. Стойкое при одновременном воздействии повышенной влажности и повышенной температуры (тропический климат) без воздействия солнечной радиации и дождя; при периодическом воздействии минерального масла, бензина и воды при нормальной температуре; при периодическом воздействии температуры не выше 150°С. Наносится распылением, окунанием, кистью по грунту и без грунта (для умеренного климата)

Наименование покрытия (ГОСТ или ТУ)	Цвет	Группа покрытия	Характеристика покрытия и способ его нанесения
Лак 170 (ТУ МХП 1308—45 с изм. № 1)	Бесцветный	А, П, ПТ	Атмосферостойкое. Стойкое при периодическом воздействии минерального масла, бензина, воды при нормальной температуре; при периодическом воздействии температуры не выше 150° С. Лак 170 (горячей сушки по цветным металлам) стойкий к одновременному воздействию повышенной температуры и повышенной влажности (тропический климат) без воздействия солнечной радиации и дождя. В смеси с алюминиевой пудрой атмосферостойкость и термостойкость покрытия повышаются. Наносится распылением, кистью, окунанием по пентафталевым эмалям и без грунта
Масляно-битумные покрытия			
Краска АЛ-177 (ГОСТ 5631—51)	Серебристый	А, П, Т ₂₀₀	Покрытия пониженной атмосферостойкости. Стойкие при длительном воздействии температуры не выше 200° С. Введение алюминиевой пудры повышает атмосферостойкость и термостойкость покрытия. Покрытие лаком 177 применяется для временной защиты оборудования. Атмосферостойкие покрытия наносятся по грунту, термостойкие — без грунта. Краска наносится распылением, лак — распылением, кистью, окунанием
Лак 177 (ГОСТ 5631—51)	Черный		
Лак Ч-2 (ГОСТ 2347—43 с изм. № 1)			
Масляные покрытия			
Краска черная масляная густотертая МА-011 (ГОСТ 6586—66)	Черный	А, П	Атмосферостойкое. Стойкое при воздействии температуры не выше 150° С. Краска при разведении олифой наносится распылением, кистью и окунанием

Таблица 5.4

Выбор грунтов и шпаклевок для черных и цветных металлов в зависимости от покрывных материалов и условий эксплуатации оборудования [134]

Тип покрывного лакокрасочного материала	Группа покрытия	Черные металлы		Алюминий и его сплавы		Медь и ее сплавы	
		Грунты	Шпаклевки	Грунты	Шпаклевки	Грунты	Шпаклевки
Перхлорвиниловые	А	138 ГФ-020 ФЛ-03-К ФЛ-03-КК АГ-3а АГ-10с ХС-010 ХС-06 ХСГ-26 Лак ХСЛ (с наполнителем)	ХВ-00-5 ХВ-00-4	ГФ-031 АЛГ-14 ВЛ-02 ФЛ-03-Ж АГ-10с ХС-06 АГ-3а	ХВ-00-5 ХВ-00-4	138 ВЛ-02 ФЛ-03-К ФЛ-03-КК АГ-3а ХС-010 АГ-10с	ХВ-00-5 ХВ-00-4
	П						
	Х						

Тип покрывного лакокрасоч- ного материала	Группа покрытия	Черные металлы		Алюминий и его сплавы		Медь и ее сплавы	
		Грунты	Шпаклевки	Грунты	Шпаклевки	Грунты	Шпаклевки
Перхлор- виниловые	АГ ПТ ХТ	ФЛ-03-К ФЛ-03-КК ХС-010 АГ-10с	ХВ-00-5	ВЛ-02 ФЛ-03-Ж АГ-10с	ХВ-00-5	ВЛ-02 ФЛ-03-К ФЛ-03-КК АГ-10с	ХВ-00-5
	В	ФЛ-03-К ФЛ-03-КК ХС-010		ВЛ-02			
	ВТ	ХС-010					
	ХК	ХС-06 ХС-010	—	ХС-06	—	—	—
	ХЩ; ХКТ; ХЩТ	ХС-010		—			
	Б М	Лак ХВ-77 (с наполнителем)					
Эпоксид- ные	ХЩ	ЭП-00-10 Э-4020		—		—	
	ХЩТ	ЭП-00-10					
	В Б М	Э-4020 ЭП-00-10 ЭП-09т (красный без грунта)	—	ЭП-09т (желтый без грунта)	—	ЭП-09т (красный без грунта) Э-4020 ЭП-00-10	—
	ВТ БТ МТ	ЭП-00-10 ЭП-09т (красный)		ЭП-09т (желтый) ЭП-00-10		ЭП-09т (красный); ЭП-00-10	
	П	ГФ-020 138 ФЛ-03-К ФЛ-03-КК ЭП-00-10 Э-4020 ЭП-09т (красный без грунта)	ПФ-00-2 ЛШ-2 Э-4022	ЭП-09т (желтый без грунта) ЭП-00-10	ПФ-00-2 ЛШ-2 Э-4022	ЭП-09т (красный без грунта) Э-4020 ЭП-00-10	ПФ-00-2 ЛШ-2 ЭП-4022
	ПТ	ЭП-00-10 ЭП-09т (красный)	—	ЭП-09т (желтый) ЭП-00-10	—	ЭП-09т (красный) ЭП-00-10	—

Продолжение табл. 5,4

Тип покрывного лакокрасоч- ного материала	Группа покрытия	Черные металлы		Алюминий и его сплавы		Медь и ее сплавы	
		Грунты	Шпаклевки	Грунты	Шпаклевки	Грунты	Шпаклевки
Дивинил- ацетилено- вые	ХК ХЩ ВМ В	Без грунта, лак «этиноль» с наполнителем	—	—	—	—	—
Фенольные	ХК	Без грунта	—	—	—	—	—
	П	138 ГФ-020 ФЛ-03-К ФЛ-03-КК ФЛ-013	ПФ-00-2 ЛШ-2	АЛГ-1 АЛГ-5 ГФ-031 АЛГ-14 ВЛ-02 ВЛ-08	ПФ-00-2 ЛШ-2	138 ВЛ-02 ВЛ-08 ФЛ-03-К ФЛ-03-КК	ПФ-00-2 ЛШ-2
	ПТ	ФЛ-03-К ФЛ-03-КК	—	ВЛ-02 ВЛ-08 ФЛ-03-Ж	—	ФЛ-03-К ФЛ-03-КК	—
	Б; В; M ₁₅₀	Б-241/3 без грунта	—	Б-241/3	—	Б-241/3	—
	БТ; ВТ; M ₁₅₀ Т	Б-241/3	—	—	—	—	—
Поливи- нилбути- ральные	А; П; В; Б; M ₁₅₀ ; T ₂₈₀	ВЛ-02 ВЛ-08 без грунта	—	ВЛ-02 ВЛ-08 АГ-10с без грунта	—	Без грунта	—
	АТ; ПТ; ВТ; БТ; M ₁₅₀ Т	Без грунта	—	Без грунта	—	—	—
Кремний- органиче- ские	А П M ₁₂₀	138 ГФ-020 ФЛ-03-К ФЛ-03-КК ФЛ-013 без грунта	—	АЛГ-1 АЛГ-5 ГФ-031 ФЛ-03-Ж	—	—	—
	АТ; ПТ; M ₁₂₀ Т	ФЛ-03-К ФЛ-03-КК	—	ФЛ-03-Ж	—	—	—
	T ₄₀₀ ; T ₄₀₀ Т	Без грунта	—	—	—	—	—
Глифтале- вые и пен- тафталовые	А	138 ГФ-020 ФЛ-03-К ФЛ-03-КК ФЛ-013	ПФ-00-2 175 185 178 МС-00-6 188	АЛГ-1 АЛГ-5 ГФ-031 АЛГ-14 ВЛ-02 ВЛ-08 ФЛ-03-Ж	ПФ-00-2 175 185 МС-00-6 178 188	ВЛ-02 ВЛ-08 ФЛ-03-К ФЛ-03-КК 138	ПФ-00-2 175 185 МС-00-6 178 188

Тип покрывного лакокрасоч- ного материала	Группа покрытия	Черные металлы		Алюминий и его сплавы		Медь и ее сплавы	
		Грунты	Шпаклевки	Грунты	Шпаклевки	Грунты	Шпаклевки
Глифталевые и пентафталевые	П	138 ГФ-020 ФЛ-03-К ФЛ-03-КК ФЛ-013 без грунта	ПФ-00-2 ЛШ-2 175 185 КФ-00-3 МС-00-6 178 188	АЛГ-1 АЛГ-5 ГФ-031 АЛГ-14 ВЛ-02 ВЛ-08 ФЛ-03-Ж	ПФ-00-2 ЛШ-2 175 185 КФ-00-3 МС-00-6 178 188	ВЛ-02 ВЛ-08 ФЛ-03-К ФЛ-03-КК 138	ПФ-00-2 ЛШ-2 175 185 КФ-00-3 МС-00-6 178 188
	ПТ	ФЛ-03-К ФЛ-03-КК	ПФ-00-2 175 178 188	ВЛ-02 ВЛ-08 ФЛ-03-Ж	ПФ-00-2 175 178 188	ФЛ-03-К ФЛ-03-КК	ПФ-00-2 175 178 188
	M ₁₂₀	138 ФЛ-03-К ФЛ-03-КК Без грунта					
	M ₁₂₀ T	ФЛ-03-К ФЛ-03-КК	—	—	—	—	—
	T ₃₀₀ , T ₃₀₀ T	Без грунта					
Масляно-битумные	А П	138 ГФ-020 ФЛ-03-К ФЛ-03-КК ФЛ-013 без грунта	—	—	—	—	—
	T ₂₀₀	Без грунта					
Масляные	А	138 ГФ-020 ФЛ-03-К ФЛ-03-КК ФЛ-013	ПФ-00-2 МС-00-6 175 185 178 188	АЛГ-1 АЛГ-5 АЛГ-7	ПФ-00-2 МС-00-6 175 185 178 188	ФЛ-03-К ФЛ-03-КК 138	ПФ-00-2 МС-00-6 175 185 178 188
	П	Масляные грунты: свинцовый сурик, железный сурик на олифе	КФ-00-3 ПФ-00-2 ЛШ-2 МС-00-6 175 185 178 188	АЛГ-14 ФЛ-03-Ж	КФ-00-3 ПФ-00-2 ЛШ-2 МС-00-6 175 185 178 188		КФ-00-3 ПФ-00-2 ЛШ-2 МС-00-6 175 185 178 188

Таблица 5.5

Продолжение табл. 5.5

Ориентировочные нормы расхода (кг/м²)
некоторых лакокрасочных материалов при нанесении
одного слоя покрытия химической аппаратуры [122]

Лакокрасочный материал	Растворитель	Нанесение распылением		Нанесение кистью	
		лакокрасочного материала	растворителя	лакокрасочного материала	растворителя
Эмаль ХСЭ-23	Р-4	0,220	0,080	0,19	0,060
Эмаль ПХВ-23		0,210	0,070	0,18	0,050
Эмаль ХВ-124		0,220	0,080	0,19	0,060
Эмаль ПФ-115 (темно-зеленая)	Сольвент	0,075	0,011	0,066	0,005
Эмаль ПФ-115 (черная)		0,072	0,011	0,064	0,005
Краска АЛ-177	Сиккатив	0,120	0,070	0,090	0,030
Краска черная масляная, тертая		0,085	0,050	0,070	0,024

Лакокрасочный материал	Растворитель	Нанесение распылением		Нанесение кистью	
		лакокрасочного материала	растворителя	лакокрасочного материала	растворителя
Лак ХСЛ	Р-4	0,102	0,041	—	—
Лак ГФ-95	Сольвент	0,047	0,007	0,041	0,003
Лак № 170		0,043	0,007	—	—
Лак № 177	Уайт-спирит	0,064	0,010	0,058	0,004
Грунт № 138	Сольвент	0,062	0,009	0,056	0,004
Грунт ГФ-020		0,072	0,011	0,064	0,005
Грунт ФЛ-03-К	Уайт-спирит + сольвент (1 : 1)	0,057	0,008	0,050	0,004
Грунт ФЛ-03-Ж		0,051	0,008	0,046	0,003
Грунт ХС-010	Р-4	0,072	0,029	—	—
Сурик железный	Сиккатив	0,038	0,023	0,034	0,010

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СВАРКИ, ПАЙКИ И СКЛЕИВАНИЯ

6.1. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СВАРКИ
ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

В табл. 6.1—6.9 приводятся рекомендуемые электроды и присадочные материалы для различных способов сварки аппаратуры из углеродистой, низколегированной, высоко-

легированной коррозионностойкой и двухслойной сталей.

В табл. 6.10—6.13 приводятся рекомендуемые электроды и присадочные материалы для различных способов сварки стальных трубопроводов, работающих под давлением до 100 Мн/м² (1000 кгс/см²).

Таблица 6.1

Рекомендуемые сварочные материалы для автоматической и полуавтоматической сварки под слоем флюса аппаратуры из углеродистой, низколегированной и высоколегированной сталей (по ОН 26-01-71—68 и [79, 163, 181])

Марка свариваемой стали	Условия применения присадочных материалов	Способ сварки	Марка сварочной проволоки (ГОСТ, ТУ)	Марка флюса (ГОСТ, ТУ)
ВМСт.Зкп; ВМСт.Зсп; 15к; 20; 20к	Соответственно правилам Госгортехнадзора и МН 71—62	Автоматическая и полуавтоматическая	Св-08; Св-08А (ГОСТ 2246—60)	АН-348А; ОСЦ-45 (ГОСТ 9087—59) или им равноценные
22к	Для сварки аппаратуры высокого давления		Св-08ГА (ГОСТ 2246—60)	
16ГС (ЗН)	Для рабочей температуры стенки от —30 до +450° С. Для рабочей температуры стенки от —31 до —40° С при толщине металла не более 24 мм без нормализации сварных соединений и при любой толщине — при условии их нормализации		Св-08ГА; Св-10Г2 (ГОСТ 2246—60)	
	Для сварки последнего шва у аппаратов с рабочей температурой стенки от —31 до —40° С при толщине металла более 24 мм без нормализации сварных соединений		Св-10НМ (ГОСТ 2246—60)	
09Г2С (М)	Для рабочей температуры стенки от —30 до +475° С. Для рабочей температуры стенки от —31 до —40° С при толщине металла более 24 мм. Для рабочей температуры стенки от —31 до —70° С металла любой толщины при условии нормализации сварных соединений		Св-08ГА; Св-10Г2 (ГОСТ 2246—60)	
	Для сварки аппаратов с рабочей температурой стенки от —41 до —70° С без нормализации сварных соединений. В этом случае сварку первого слоя следует выполнять проволокой Св-08ГА		Св-10НМ (ГОСТ 2246—60)	
10Г2С1 (МК)	Для рабочей температуры стенки от —41 до —70° С металла любой толщины при условии нормализации сварных соединений	Св-10Г2 (ГОСТ 2246—60)		

Продолжение табл. 6.1

Марка свариваемой стали	Условия применения присадочных материалов	Способ сварки	Марка сварочной проволоки (ГОСТ, ТУ)	Марка флюса (ГОСТ, ТУ)
12МХ	Для сварки металла толщиной 40—80 мм с предварительным подогревом до температуры 250—350°С для аппаратов, работающих при температуре стенки от -40 до +540°С	Автоматическая и полуавтоматическая	Св-10МХ (ГОСТ 2246—60)	АН-15; АН-22; З и О-Ф2 (ТУ ИЭС им. Е. О. Патона)
12ХМ	Для сварки металла толщиной 12—40 мм с предварительным подогревом до температуры 250—350°С для аппаратов, работающих при температуре стенки от -40 до +540°С		Св-10ХМ (ГОСТ 2246—60)	
20Х2МА; 22Х3М	Для сварки аппаратуры высокого давления с предварительным и сопутствующим подогревом до температуры 250—300°С при скорости нагрева металла не более 100°С/ч. После сварки необходима нормализация и отпуск сварного корпуса аппарата		Св-08Х3Г2СМ (ГОСТ 2246—60)	АН-42
Х14Г14Н3Т	Для сварки аппаратуры, работающей при температурах до -196°С, и аппаратуры для пищевой, мясомолочной и спиртоводочной промышленности		ЭП516 (ЧМТУ 1-348—68)	АН-26 (ТУ ИЭС им. Е. О. Патона)
0Х18Н10Т; Х18Н10Т; 10Х18Н9ТЛ	Для сварки аппаратуры, к которой не предъявляются требования стойкости швов против межкристаллитной коррозии		Св-04Х19Н9; Св-06Х19Н9Т (ГОСТ 2246—60)	АН-26; АНФ-16; 48-ОФ-6 (ТУ ИЭС им. Е. О. Патона) и им равноценные
0Х18Н10Т; Х18Н10Т; 10Х18Н9ТЛ	Для сварки аппаратуры, к которой предъявляются требования стойкости швов против межкристаллитной коррозии		Св-07Х18Н9ТЮ (ГОСТ 2246—60); 05Х19Н9ФБС (ЭИ649) (ЧМТУ 3211—52); 06Х25Н13БТЮ (ЭП389) (ЧМТУ/ЦНИИЧМ 669—62)	АН-26; АНФ-16; 48-ОФ-6 (ТУ ИЭС им. Е. О. Патона) и им равноценные
0Х22Н5Т; 0Х21Н6М2Т; 0Х18Н10Т; Х18Н10Т; 0Х18Н12Б	Для сварки аппаратуры, работающей в средах средней и повышенной агрессивности, к которой предъявляются требования повышенных механических свойств сварных швов и отсутствие склонности последних против межкристаллитной коррозии		05Х19Н9ФБС (ЭИ649) (ЧМТУ 3211—52)	

Марка свариваемой стали	Условия применения присадочных материалов	Способ сварки	Марка сварочной проволоки (ГОСТ, ТУ)	Марка флюса (ГОСТ, ТУ)
X17H13M2T; X17H13M3T	Для сварки аппаратуры, к которой не предъявляются требования стойкости швов против межкристаллитной коррозии	Автоматическая и полуавтоматическая	Св-08X19H11M3; Св-06X19H10M3T (ГОСТ 2246—60)	АН-26; АНФ-16; 48-ОФ-6 (ТУ ИЭС им. Е. О. Патона) и им равноценные
	Для сварки аппаратуры, к которой предъявляются требования стойкости швов против межкристаллитной коррозии		020H11M3TB (ЭП89) (ЧМТУ/ЦНИИЧМ 170—59); X19H10M3B (ЭП902) (ЧМТУ/ЦНИИЧМ 297—60)	
X18H10T	Для сварки аппаратуры, к которой не предъявляются требования стойкости швов против межкристаллитной коррозии	Полуавтоматическая	Св-02X19H9; Св-06X19H9T (ГОСТ 2246—60)	АН-26; АНФ-14; ХНК-66; К-8
	Для сварки аппаратуры, к которой предъявляются требования стойкости швов против межкристаллитной коррозии		05X19H9ФБС (ЭИ 649) (ЧМТУ 3211—52)	

Таблица 6.2

Рекомендуемые электроды для ручной электродуговой сварки аппаратуры из углеродистой, низколегированных и высоколегированных коррозионностойких сталей (по ОН 26-01-71—68, ГОСТу 9467—60, МРТУ 26-01-3—65, ГОСТу 10052—62 и [215])

Марка свариваемой стали	Условия применения электродов	Электроды		
		Тип по ГОСТам 9467—60 и 10052—62	Марка покрытия	Марка проволоки (ГОСТ, ТУ)
ВМСт.3кп; ВМСт.3сп; 15к; 20	Для сварки аппаратуры ответственного назначения, работающей при статических и знакопеременных динамических нагрузках	Э42	АНО-Г; АНО-5; АНО-6; ОММ-5; ЦМ7	Св-08; Св-08А (ГОСТ 2246—60)
ВМСт.3сп; ВМСт.5сп; Ст.5сп; 15к; 20; 20к; 20Л; 25Л	Для сварки аппаратуры особо ответственного назначения, работающей при динамических нагрузках, под давлением при низких температурах. Для сварки металла большой толщины	Э42А	УОНИ 13/45; УП-1/45; ОЗС-2	
20к; 22к; 16ГС (ЗН); 10Г2; 09Г2С (М); 10Г2С1 (МК)	Для сварки аппаратуры особо ответственного назначения, работающей при нормальной и низких температурах	Э50А	УОНИ 13/55; УП-1/55; УП-2/55; К-5А	Св-08; Св-08Г2 (ГОСТ 2246—60)
20Х2МА; 20Х3М	Для сварки аппаратуры высокого давления	Э60	ХЗМ *	Св-08А (ГОСТ 2246—60)
12МХ	Для сварки стали толщиной до 40 мм с предварительным подогревом до температуры 150—200° С	Э-МХ	УОНИ 13/45МХ; ГЛ-14; ЦУ-2ХМ	Св-10МХ (ГОСТ 2246—60)

Продолжение табл. 6.2

Марка свариваемой стали	Условия применения электродов	Электроды		
		Тип по ГОСТам 9467-60 и 10052-62	Марка покрытия	Марка проволоки (ГОСТ, ТУ)
12ХМ	Для сварки стали толщиной 12—40 мм с предварительным подогревом до температуры 250—300° С	Э-ХМ	ЦЛ-14; ЦУ-2ХМ	Св-10ХМ (ГОСТ 2246—60)
20Х3МВФ; 30ХМА	Для сварки сталей толщиной до 100 мм при наличии повышенных требований к прочностным характеристикам металла шва	Э-МХ	ЦЛ-30—63	Св-10ХМ (ГОСТ 2246—60)
12Х1М1Ф; 20ХМФ; 20ХМФ-Л	Для сварки конструкций ответственного назначения, работающих при температуре до 570° С	Э-ХМФ	ЦЛ-20—63	Св-08ХМФ (ГОСТ 2246—60)
Х5; Х5М; Х5ВФ; 20Х5МЛ; 20Х5ВЛ	Для сварки конструкций ответственного назначения, работающих при повышенных давлениях и температурах до 450° С в условиях воздействия продуктов крекинга нефти и водорода	Э-Х5МФ	ЦЛ-17—63	Св-10Х5М (ГОСТ 2246—60)
Х5; Х5М; Х5ВФ; 1Х8ВФ; 20Х5ТЛ; 20Х5МЛ; 20Х8ВЛ	Для сварки конструкций при отсутствии требования стойкости металла шва против межкристаллитной коррозии. Сварка трубопроводов $D_y \leq 300$ мм без последующей термообработки	ЭА-1	ОЗЛ-14	Св-02Х19Н9 (ГОСТ 2246—60)
Х5М; Х5ВФ	Для сварки конструкций, к которым предъявляется требование жаростойкости металла шва до температуры 800° С. Для композиционной сварки теплоустойчивых сталей Х5М, Х5ВФ и других марок со сталями аустенитного класса	ЭА-1Г6	СЛ-16	Св-08Х20Н9Г7Т (ГОСТ 2246—60)
0Х18Н10Т; Х18Н10Т; 10Х18Н9ТЛ и им подобные	Для сварки аппаратуры, работающей при температуре от —253 до +800° С при отсутствии жидкой агрессивной среды и работающей при температуре до 350° С, когда к металлу шва не предъявляется требования стойкости против межкристаллитной коррозии	ЭА-1а	ОЗЛ-8	Св-02Х19Н9; Св-04Х19Н9; Св-06Х19Н9 (ГОСТ 2246—60)
0Х18Н10Т; Х18Н10Т и им подобные	Для сварки аппаратуры, работающей при температуре до 350° С при отсутствии требования стойкости металла шва против межкристаллитной коррозии	ЭА-1	ОЗЛ-14	Св-02Х19Н9; Св-04Х19Н9 (ГОСТ 2246—60)
1Х21Н5Т; 0Х22Н5Т; 0Х21Н5Т	Для сварки из листовой стали толщиной до 10 мм аппаратуры, предназначенной для работы с агрессивными средами при температуре до 300° С при наличии требования стойкости металла шва против межкристаллитной коррозии	ЭА-1Б	ЦЛ-11	Св-08Х19Н10Б (ГОСТ 2246—60)
	Те же условия, но для листовой стали толщиной 10—20 мм		ЦТ-15	

Марка свариваемой стали	Условия применения электродов	Электроды		
		Тип по ГОСТам 9467-60 и 10052-62	Марка покрытия	Марка проволоки (ГОСТ, ТУ)
X14Г14Н3Т	Для сварки аппаратуры, предназначенной для работы с агрессивными средами при температуре от -196 до $+300^{\circ}\text{C}$ при наличии требования стойкости металла шва против межкристаллитной коррозии	ЭА-1Б	03Л-7; Л-40М	Св-02Х19Н9; Св-04Х19Н9 (ГОСТ 2246-60)
			ЦЛ-11; Л-38М	Св-08Х19Н10Б (ГОСТ 2246-60)
03Л-7; Л-40М	Св-02Х19Н9; Св-04Х19Н9 (ГОСТ 2246-60)			
ЦЛ-11	Св-08Х19Н10Б (ГОСТ 2246-60)			
0Х18Н10Т; Х18Н10Т; 10Х18Н9ТЛ; 0Х18Н12Б и им подобные	Для сварки аппаратуры, предназначенной для работы с агрессивными средами при температуре от -196 до $+350^{\circ}\text{C}$ при наличии требования стойкости металла шва против межкристаллитной коррозии	ЭА-1Б	Л-40М	Св-02Х19Н9; Св-04Х19Н9 (ГОСТ 2246-60)
	Л-38М		Св-08Х19Н10Б (ГОСТ 2246-60)	
	Для сварки аппаратуры, предназначенной для работы с агрессивными средами при температуре до 600°C при наличии требования стойкости металла шва против межкристаллитной коррозии		ЦТ-15; ЗнО-3	Св-08Х19Н10Б (ГОСТ 2246-60)
	Для сварки аппаратуры, предназначенной для работы с агрессивными средами при температуре от -196 до $+800^{\circ}\text{C}$ при наличии требования стойкости металла шва против межкристаллитной коррозии и ограниченном содержании феррита **		ЭА-1Б	Св-08Х19Н10Б (ГОСТ 2246-60)
0Х18Н10Т; Х18Н10Т; 10Х18Н9ТЛ	Для сварки аппаратуры, работающей при температуре от -196 до $+350^{\circ}\text{C}$ ** в средах, не вызывающих структурно-избирательную коррозию	ЭА-1М2Ф	ЭА-400/10У	Св-04Х19Н11М3 (ГОСТ 2246-60)
0Х21Н6М2Т; Х17Н13М2Т; Х17Н13М3Т; 0Х17Н16М3Т	Для сварки аппаратуры, предназначенной для работы с агрессивными средами при температуре до 300°C (без термообработки после сварки) при наличии требования стойкости металла шва против межкристаллитной коррозии. Для сварки аппаратуры, предназначенной для работы с уксусной, муравьиной, щавелевой и другими кислотами	ЭА-1М2	ЭА-400/10У; ЭНТУ-3М	Св-04Х19Н11М3 (ГОСТ 2246-60)
	Те же условия и дополнительно для сварки аппаратуры, предназначенной для работы с фосфорной и кремнефтористоводородной кислотами		ЦЛ-4	Св-06Х19Н9Т (ГОСТ 2246-60)
Х17Н13М2Т; Х17Н13М3Т	Для сварки аппаратуры, предназначенной для работы с агрессивными средами при температуре до 350°C при наличии требования стойкости металла шва против межкристаллитной коррозии	ЭА-1М2Б	НЖ-13	Св-04Х19Н11Н3 (ГОСТ 2246-60)

Продолжение табл. 6.2

Марка свариваемой стали	Условия применения электродов	Электроды			
		Тип по ГОСТам 9467—60 и 10052—62	Марка покрытия	Марка проволоки (ГОСТ, ТУ)	
X17H13M2T; X17H13M3T; 0X17H16M3T	Для сварки аппаратуры, предназначенной для работы с агрессивными средами при температуре до 700° С*** при наличии требования стойкости металла шва против межкристаллитной коррозии	ЭА-1М2Ба	Сл-28	0X20H11M3ТБ (ЭП 89) (ЧМТУ/ЦНИИЧМ 170—59)	
X17H13M2T; X17H13M3T	Для сварки аппаратуры, работающей при температурах 900—950° С в условиях газовых сред, содержащих сернистые соединения	ЭА-2М	ОЗЛ-2	Св-10X20H15 (ГОСТ 2246—60)	
			КБ-3М	Св-07X25H13 (ГОСТ 2246—60)	
X23H18	Для сварки аппаратуры, работающей при температуре до 1150° С	ЭА-2	ОЗЛ-6	Св-07X25H13 (ГОСТ 2246—60)	
X25T; X28; X28АН	Для сварки аппаратуры, работающей при температуре до 1150° С без циклических резких изменений ее в средах, не содержащих сернистого газа				
0X23H28M2T; 0X23H28M3Д3Т	Для сварки аппаратуры, предназначенной для работы с серной и фосфорной кислотами различных концентраций при температуре до 80° С, кремнефтористоводородной кислотой и другими фтористыми соединениями	—	15М	0X23H28M2T (ЧМТУ/ЦНИИЧМ 3719—53)	
		—	ОЗЛ-11	0X23H28M3Д3Т (ЧМТУ/ЦНИИЧМ 1338—65)	
X15H9Ю	Для сварки конструкций, к которым предъявляются требования повышенной коррозионной стойкости в атмосферных условиях и высоких прочностных свойств	—	НИАТ-6	X17H5M3 (ЭП 925) (ЧМТУ 514—61)	
ВМСт.3сп с X18H10Т	Для композиционной сварки сталей различных марок	ЭА-2	ЭНТУ-3; СЛ-25; ОЗЛ-2; ЗнФ-1	Св-07X25H13; Св-06X25H12ТЮ; Св-10X20H15; Св-08X20H10Г6	
ВМСт.3сп с X17H13M2T			ЭНТУ-3; ЗнО-8	Св-07X25H13; X25H12ТЮ (ЭП 87) (ЧМТУ 168—59)	
ВМСт.3сп с 0X22H5T			ОЗЛ-6	Св-07X25H13 (ГОСТ 2246—60)	
ВМСт.3сп с 0X21H6M2T			ЭА-1Б	ЦЛ-11	Св-08X19H10Б
0X22H5T с 0X21H6M2T			ЭА-1М2Ф	ЭА-400/10У	Св-04X19H11M3

Продолжение табл. 6.2

Марка свариваемой стали	Условия применения электродов	Электроды		
		Тип по ГОСТам 9467-60 и 10052-62	Марка покрытия	Марка проволоки (ГОСТ, ТУ)
0X22H5T с 0X18H10T или 0X22H5T с X18H10T	Для композиционной сварки сталей различных марок	ЭА-1Б	ЦЛ-11	Св-08X19H10Б
0X21H6M2T с X17H13M2T		ЭА-1M2Ф	ЭА-400/10У	Св-04X19H11M3
0X21H6M2T с X17H13M3T		ЭА-1M2Б	НЖ-13	Св-04X19H11M3

* По нормам завода «Уралхиммаш».
 ** При обнаружении склонности к межкристаллитной коррозии обязательна закалка.
 *** Для работы аппаратуры в интервале температур 450—700°С применяются только электроды с содержанием 3—6% ферритной фазы, при этом стойкость против межкристаллитной коррозии обеспечивается термообработкой при 870—920°С.

Таблица 6.3

Рекомендуемые электроды и присадочные материалы для сварки аппаратуры из хромистых сталей (по ОН 26-01-71-68)

Марка свариваемой стали	Требования к сварным соединениям	Ручная электро- дуговая сварка (электроды)	Аргано-дуговая сварка (проволока)	Автоматическая сварка под слоем флюса	
				Проволока	Флюс
0X13	Равнопрочность сварных швов с основным металлом, пластичность сварных швов, коррозионная стойкость швов в состоянии после сварки	ЦЛ-24	Св-10X20H15	Св-10X20H15	АНФ-6; 48-ОФ-6; АН-70; АНФ-14; АН-26
0X13; 1X13	Равнопрочность сварных швов с основным металлом (в том числе длительная прочность при температурах до 350°С), пластичность сварных швов, коррозионная стойкость швов после отпуска при температуре 700°С	ЭНТУ-3/ЭФ13; ЛМ3-1; УОНИ/Х13; АНВ-1 и им подобные	Св-10X13; Св-08X14ГТ	Св-10X13; Св-08X14ГТ	
0X17T	Стойкость против общей и межкристаллитной коррозии после сварки при отсутствии требования пластичности сварных швов; жаростойкость до температуры 800°С	Х17/ВИ 12-6 и ему подобные	Св-10X17T	Св-10X17T	АНФ-6; 48-ОФ-6; АН-70
	Стойкость против общей и межкристаллитной коррозии, пластичность сварных швов	АНВ-9; АНВ-10; ЦЛ-11; ЭНТУ-3Б; СЛ-16	08X20H15ФБЮ (ЭП 444) по ЧМТУ 849-63; Св-08X19H10Б; Св-07X18H9ТЮ	08X20H15ФБЮ (ЭП 444) по ЧМТУ 849-63; 08X25H2ТЮ (ЭП87)	АНФ-6; 48-ОФ-6; АН-70; АНФ-14; АН-26

Продолжение табл. 6.3

Марка свариваемой стали	Требования к сварным соединениям	Ручная электро- дуговая сварка (электроды)	Аргоно-дуговая сварка (проволока)	Автоматическая сварка под слоем флюса	
				Проволока	Флюс
1X17H2	Равнопрочность сварных швов с основным металлом (в том числе длительная прочность), пластичность сварных швов после отпуска при температуре 700° С	АНВ-2; АНВ-1	Св-08Х18Н2ГТ; Св-08Х14ГТ	Св-08Х18Н2ГТ Св-08Х14ГТ	АНФ-6; 48-ОФ-6; АН-70; АНФ-14; АН-26
	Коррозионная стойкость после отпуска при температуре 700° С	АНВ-2; ЦЛ-11; ЭНТУ-3Б	Св-08Х18Н2ГТ	Св-08Х18Н2ГТ	
	Жаростойкость до температуры 800° С при отсутствии требования пластичности, достигаемая без термообработки	Х17/ВИ 12-6; НЗЛ/17	Св-10Х17Т	Св-10Х17Т	
Х17	Жаростойкость, стойкость против общей и межкристаллитной коррозии после отпуска при температуре 760—780° С при отсутствии требования пластичности сварных швов	Х17/ВИ 12-6 и ему подобные	Св-10Х17Т	Св-10Х17Т	
	Жаростойкость, стойкость против общей и межкристаллитной коррозии после отпуска при температуре 760—780° С, пластичность сварных швов	АНВ-9; АНВ-10; ЦЛ-11	08Х20Н15ФБЮ (ЭП444) по ЧМТУ 849—63; Св-08Х19Н10Б; Св-07Х18Н9ТЮ	08Х20Н15ФБЮ (ЭП444) по ЧМТУ 849—63	
Х25Т	Жаростойкость и пластичность сварных швов	ЦЛ-8; ОЗЛ-6; НИИ-48 и им подобные	Св-13Х25Н18; Св-07Х25Н13	Св-13Х25Н18		АНФ-6; 48-ОФ-6; АН-70
	Стойкость против общей и межкристаллитной коррозии, жаростойкость и пластичность сварных швов	СЛ-25; АНВ-11; ЦЛ-9; КБ-3М; ЭЗБ/Св-07Х25Н13; ЦА0/Х25Н5Б	08Х25Н12ТЮ (ЭП87); 07Х25Н12Т (ЭП75) по ЧМТУ 183—59	08Х25Н12ТЮ (ЭП87); 07Х25Н12Т	
	Эксплуатация при температурах 950—1100° С	ЭНТУ-3/Х27Н4Н; Ф-1/Х27Н4Н	—	—	
Х28АН	Коррозионная стойкость в состоянии после сварки в средах, не вызывающих межкристаллитную коррозию. Стойкость против общей и межкристаллитной коррозии после отпуска при температуре 850° С	ЭНТУ-3/Х27Н4Н; ЭЗБ/Св-07Х25Н13; СЛ-25; АНВ-9; ЦЛ-9; ЭА-48М/22; НИИ-48	08Х25Н12ТЮ (ЭП87); 07Х25Н12Т (ЭП75); Св-08Х20Н9ГНТ	08Х20НФБЮ (ЭП444) по ЧМТУ 849—63; 08Х25Н12ТЮ (ЭП87); 07Х25Н12Т (ЭП75); Св-08Х19Н9ТЮ	АНФ-6; 48-ОФ-6; АН-70; АНФ-14; АН-26

Таблица 6.4

Рекомендуемые электроды для ручной электродуговой сварки основного слоя двухслойных сталей
(по ОН 26-01-71-68)

Марка стали основного слоя	Тип электрода (ГОСТ 9467-60)	Примерная марка электрода
ВМСт.Зсп; 10; 15к	Э42; Э42Н; Э46	АНО-1; АНО-4; ОММ-5; ЦМ-7; УОНИ 13/45 и им равноценные
20к; 16ГС; 09Г2С	Э50А	УОНИ 13/55; УП-1 и им равноценные
12МХ	Э-МХ	ГЛ-14; ЦУ-2МХ; ЦЛ-14 и им равноценные
12ХМ	Э-ХМ	ЦУ-2ХМ и ему равноценный

Таблица 6.5

Рекомендуемые электроды для ручной электродуговой сварки коррозионностойкого слоя двухслойных сталей
(по ОН 26-01-71-68)

Марка стали коррозионностойкого слоя	Наличие требования стойкости против межкристаллитной коррозии	Номер слоя сварного шва	Электроды		
			Тип	Марка покрытия	Марка электродной проволоки
0Х13; Х18Н10Т	Отсутствует	—	ЭА-2	СЛ-25	Х25Н12Т (ЭП-75); 06Х25Н12ТЮ (ЭП87)
				ГЛ-10; ОЗЛ-6; ЗиО-8	Св-07Х25Н13
0Х18Н10Т; Х18Н10Т	Имеется	1		СЛ-25	Х25Н12Т (ЭП-75); 06Х25Н12ТЮ (ЭП87)
				ГЛ-10; ОЗЛ-6; ЗиО-8	Св-07Х25Н13
		2	Л-40М; ЦЛ-11	Св-08Х19Н10Б	
			Л-38М	Св-04Х19Н9	
ЦЛ-9	Св-07Х25Н13				
ОЗЛ-7	Св-04Х19Н9				
Х17Н13М2Т	Отсутствует	1	ЭА-2	КБ-3М	Св-07Х25Н13
		2	ЭА-1М2Ф	ЭА-400/10У	Св-04Х19Н11М3
	Имеется	1	ЭА-2	КБ-3М	Св-07Х25Н13
		2	ЭА-1М2Б	СЛ-28	0Х20Н11М3ТБ (ЭП89)
				НЖ-13	Св-04Х19Н11М3
		0Х17Н16М3Т	—	—	НЖ-16	Св-06Х19Н10М3Т

Примечание. Кроме приведенных в таблице марок электродов (покрытия) могут применяться другие марки (покрытия) электродов такого же типа, равноценные по свойствам, удовлетворяющие требованиям ГОСТа 10052-62.

Таблица 6.6

Рекомендуемые присадочные материалы для автоматической и полуавтоматической сварок основного слоя двухслойных сталей (по ОН 26-01-71—68)

Марка свариваемой стали	Условия применения присадочных материалов	Способ сварки	Марка сварочной проволоки (ГОСТ 2246—60)	Марка флюса
ВМСт.Зсп; 15к; 20	Соответственно правилам Госгортехнадзора и МН 72—62	Автоматическая под слоем флюса	Св-08; Св-08А	АН-348А; ОСЦ-45 и им равноценные
16ГС (ЗН)	Для рабочей температуры стенки от —30 до +450° С. Для рабочей температуры стенки от —31 до —40° С при толщине металла не более 24 мм без нормализации сварных соединений и при любой толщине металла при условии их нормализации			
09Г2С (М)	Для рабочей температуры стенки от —30 до +475° С. Для рабочей температуры стенки от —31 до —40° С при толщине металла не более 24 мм без нормализации сварных соединений и при любой толщине металла при условии их нормализации		Св-08ГА	
16ГС (ЗН); 09Г2С (М)	Для рабочей температуры стенки от —31 до —40° С при толщине металла свыше 24 мм без нормализации сварных соединений		Св-10МХ; Св-10НМ; Св-12М *	
09Г2С (М)	Для рабочей температуры стенки от —41 до —70° С без нормализации сварных соединений			
12МХ; 12ХМ	Для рабочей температуры стенки от —40 до +540° С		Св-10МХ; Св-10ХМ	АН-15 или ей равноценная
ВМСт.Зсп; 15к; 20к; 16ГС; 09Г2С	Соответственно правилам Госгортехнадзора и МН 72—62	Полуавтоматическая	Св-10МХ; Св-10ХМ; Св-08Г2С	Углекислый газ

* По ТУ 170—60.

Таблица 6.7

Рекомендуемые присадочные материалы для автоматической сварки коррозионностойкого слоя двухслойных сталей (по ОН 26-01-71—68)

Марка свариваемой стали	Наличие требования стойкости против межкристаллитной коррозии	Номер слоя сварного шва	Присадочная проволока	
			Марка	ГОСТ, ТУ
0Х13; Х18Н10Т	Отсутствует	1, 2	Х25Н12Т (ЭП75)	ЧМТУ/ЦНИИЧМ 183—59
			06Х25Н12ТЮ (ЭП87)	ЧМТУ/ЦНИИЧМ 168—59
0Х18Н10Т; Х18Н10Т	Имеется	1	Х25Н12Т (ЭП75); 06Х25Н12ТЮ (ЭП87)	ЧМТУ/ЦНИИЧМ 183—59; ЧМТУ/ЦНИИЧМ 168—59
		2	Х19Н9Ф2СБ (ЭП649)	ЧМТУ 3211—52

Марка свариваемой стали	Наличие требования стойкости против межкристаллитной коррозии	Номер слоя сварного шва	Присадочная проволока	
			Марка	ГОСТ, ТУ
X17H13M2T	Отсутствует	1	X25H12T (ЭП75) 06X25H12ТЮ (ЭП87)	ЧМТУ/ЦНИИЧМ 183—59 ЧМТУ/ЦНИИЧМ 168—59
		2	Св-04X19H11M3; Св-06X19H10M3T	ГОСТ 2246—60
	Имеется	1	X25H12T (ЭП75) 06X25H12ТЮ (ЭП87)	ЧМТУ/ЦНИИЧМ 183—59 ЧМТУ/ЦНИИЧМ 168—59
		2	X19H10M3Б (ЭП902) 0X20H11M3ТБ (ЭП89)	ЧМТУ/ЦНИИЧМ 297—60 ЧМТУ/ЦНИИЧМ 170—59

Примечание. При сварке применяются флюсы марок АН-26, АН-22 и им равноценные. Вместо флюсов указанных марок допускается применение специальных керамических флюсов.

Таблица 6.8

Рекомендуемые сварочные материалы для электрошлаковой сварки углеродистых, низколегированных и высоколегированных коррозионностойких сталей [33, 151, 181, 216]

Марка свариваемой стали	Сварочные материалы		
	Проволока по ГОСТу 2246—60	Пластинки	Флюс
ВМСт.3сп; 20; 20Л; 25Л *	Св-08	—	АН-8; АН-22
20К	Св-08ГА		АН-8; АН-348А; ФЦ-6; ФЦ-7
22К	Св-10Г2		АН-8М
16ГС (ЗН); 09Г2С (М)	Св-08ХН2М		АН-22
20Х2МА; 22Х3М	Св-08Х3Г2СМ; Св-13Х2МТФ		АН-8М
20Х3МВФ (ЭИ415; ЭИ579)	—	20Х3МВФ	АНФ-1; АНФ-7
X18H10T; 10X18H9TЛ	Св-07X18H9ТЮ	X18H10T	АН-26
X17H13M2T; X17H13M3T	Св-04X19H11M3	—	

Таблица 6.9

Рекомендуемые марки сварочной проволоки для сварки углеродистых, низколегированных и высоколегированных коррозионностойких сталей в среде инертных газов [79, 181]

Марка свариваемой стали	Сварка в среде углекислого газа	Аргонно-дуговая сварка
ВМСт.3сп; ВМСт.3кп; 20; 20Л	Св-08ГС; Св-08Г2С (ГОСТ 2246—60)	—
09Г2С (М)	Св-08Г2СГ (ЧМТУ ЦНИИЧМ 163—59)	

Продолжение табл. 6.9

Марка свариваемой стали	Сварка в среде углекислого газа	Аргоно-дуговая сварка
X28AH	Св-08X19H10B (ГОСТ 2246—60)	Св-08X19H10B (ГОСТ 2246—60)
0X21H5T; 0X22H5T	05X19H9ФБС (ЭИ649) (ЧМТУ 3211—52) 06X25H12ТЮ (ЭП87) (ЧМТУ/ЦНИИЧМ 168—59)	Св-04X19H9; Св-08X19H10B (ГОСТ 2246—60); 05X19H9ФБС (ЭИ649) (ЧМТУ 3211—52)
0X21H6M2T	0X20H11M3ТБ (ЭП89) (ЧМТУ/ЦНИИЧМ 170—59); 06X25H12ТЮ (ЭП87) (ЧМТУ/ЦНИИЧМ 168—59)	Св-04X19H11M3 (ГОСТ 2246—60); 0X20H11M3ТБ (ЭП89) (ЧМТУ/ЦНИИЧМ 170—59); 05X19H9ФБС (ЭИ 649) (ЧМТУ 3211—52)
X18H10T	Св-06X19H9T (ГОСТ 2246—60)	Св-04X19H9; Св-06X19H9T; Св-08X19H10B (ГОСТ 2246—60)
X17H13M2T	—	Св-04X19H11M3 (ГОСТ 2246—60)
0X23H28M3Д3Т		000X23H28M3Д3Т (ЭП516) (ЧМТУ 1-348—68)

Примечания:

1. При сварке в среде углекислого газа рекомендуется применять осушенную пищевую углекислоту по ГОСТу 8050—64. Содержание примесей в углекислоте должно быть ограничено: воды $\leq 0,05\%$, других примесей (азота, кислорода) $\leq 5\%$.

2. При ручной и автоматической аргоно-дуговой сварке неплавящимся электродом рекомендуется применять вольфрамовые прутки по СТУ 45-ЦМ-1150—63 и торированную или лантанированную проволоку по ВТУ № Вл. 24—5—62. В качестве защитных газов рекомендуется аргон марок А, Б и В по ГОСТу 10157—62 или гелия высокой чистоты сорта А или Б по МРТУ 54-04-23—62.

Таблица 6.10

Рекомендуемые электроды для ручной электродуговой сварки стальных трубопроводов, работающих при условном избыточном давлении от 10 до 100 Мн/м^2 (от 10 до 1000 кгс/см^2) и температуре от -50 до $+510$ °С (по МРТУ 26-01-9—67)

Марка свариваемой стали	Условия применения электродов	Электроды		
		Тип по ГОСТам 9467—60 и 10052—62	Марка покрытия	Марка проволоки по ГОСТу 2246—60
20	—	Э-42А	УОНИ 13, 45; УЗС-2	Св-08А
		Э-46	ОЗС-3; МР-3	Св-08
15ХМ	—	Э-МХ Э-ХМ	ЦЛ-14 ЦУ-2ХМ	Св-08А
		Э-МХ Э-ХМФ	ГЛ-14 ЦЛ-20А	Св-08МХ Св-08А
30ХМА	—	Э-60	ЦЛ-19ХМ	Св-18ХМА
18Х3МВ	—		ХН-56 ХЗМ*	Св-10ХМ Св-08А
			ВСН-1; ВСН-1А	ЭИ578

Марка свариваемой стали	Условия применения электродов	Электроды		
		Тип по ГОСТам 9467-60 и 10052-62	Марка покрытия	Марка проволоки по ГОСТу 2246-60
X5M	—	Э-Х5МФ	ЦЛ-17	Св-10Х5М
X14ГС		Э-60А	УОНИ 13/65	Св-08А
18ХГ		Э-60А Э-ХМФ-Ф	УОНИ 13/65 ЦЛ-20Б	Св-08А Св-08ХМФ
20Х3МВФ	Электроды ЦЛ-17 применяются в случае допуска пониженных прочностных свойств сварных соединений на 10%	Э-Х5МФ Э-70	ЦЛ-17 ВСН-2	Св-10Х5М ЭИ579
0Х18Н10Т; Х18Н10Т	Для сварки трубопроводов, работающих в агрессивных средах при температуре до 450°С при наличии требований стойкости шва против межкристаллитной коррозии	ЭА-1Ба	ЦТ-15	Св-08Х19Н10Б
		ЭА-1Б	ЦЛ-11; Л-38М ЗиО-3	
			ОЗЛ-7	Св-02Х19Н9
	Для сварки трубопроводов, работающих при температуре до 350°С при отсутствии требований стойкости шва против межкристаллитной коррозии	ЭА-1а	Л-40М	Св-04Х19Н9
			ОЗЛ-8	Св-02Х19Н9
		ЭА-1	ОЗЛ-13	
X17Н13М2Т; X17Н13М3Т; 0Х17Н16М3Т	Для сварки трубопроводов, работающих при температуре до 350°С при наличии требования стойкости шва против межкристаллитной коррозии	ЭА-1М2Б	НЖ-13; ВСН-5; ЗиО-10	Св-04Х19Н11М3
		ЭА-1М2Ф	МФ-1	
		ЭА-1М2	НЖ-5	
	ЭА-1М2Фа	ЭА-400/10У		
0Х23Н18	Для сварки трубопроводов, работающих при высоких температурах	ЭА-2Г6	ОЗЛ-9	Св-13Х25Н18
		ЭА-2	ЦЛ-8	
			ОЗЛ-6	Св-07Х25Н13
			ОЗЛ-4	Св-10Х20Н15

* По нормам завода «Уралхиммаш».

Таблица 6.11

Рекомендуемая присадочная проволока для сварки в среде защитных газов трубопроводов, работающих при условном избыточном давлении от 10 до 100 $\text{Мн}/\text{м}^2$ (от 100 до 1000 $\text{кгс}/\text{см}^2$) и температуре от -50 до $+510^\circ\text{C}$ (по МРТУ 26-01-9-67)

Марка свариваемой стали	Марка сварочной проволоки по ГОСТу 2246-60	Защитный газ	Условия применения сварочной проволоки
20	Св-08АГ2С	Аргон (33%)+ +CO ₂ (67%)	—
0X18H10T; X18H10T	Св-02X19H9; Св-04X19H9; Св-08X19H10Б; Св-06X19H9Т	Аргон	Проволока Св-04X19H9 применяется при отсутствии требований по стойкости шва против межкристаллитной коррозии
X17H13M2T; X17H13M3T; 0X17H16M3T	Св-04X19H11M3; Св-06X19H10M3Т		Для сварки трубопроводов при наличии требований стойкости шва против межкристаллитной коррозии; для сварки трубопроводов, транспортирующих среды производства мочевины, рекомендуется проволока Св-04X19H11M3
0X23H18	Св-13X25H18; Св-07X25H13; Св-10X25H15		

Таблица 6.12

Рекомендуемая присадочная проволока для газовой сварки трубопроводов, работающих при условном избыточном давлении от 10 до 100 $\text{Мн}/\text{м}^2$ (от 100 до 1000 $\text{кгс}/\text{см}^2$) и температуре от -50 до $+510^\circ\text{C}$ (по МРТУ 26-01-9-67)

Марка свариваемой стали	Марки присадочной проволоки по ГОСТу 2246-60	Марка свариваемой стали	Марки присадочной проволоки по ГОСТу 2246-60
20	Св-08ГА; Св-08Г2С; Св-08ГС	18Х3МВ	Св-08Х3МФБ
15ХМ	Св-10ХМ	14ХГС	Св-08Г2С
30ХМА	Св-18ХМА	18ХГ	Св-10ХГ2С
Х5М	Св-10Х5М	20Х3МВФ	Св-08Х3МФБ

Таблица 6.13

Рекомендуемые сварочные материалы для автоматической и полуавтоматической сварок под флюсом трубопроводов, работающих при условном избыточном давлении от 10 до 100 $\text{Мн}/\text{м}^2$ (от 100 до 1000 $\text{кгс}/\text{см}^2$) и температуре от -50 до $+510^\circ\text{C}$ (по МРТУ 26-01-9-67)

Марка свариваемой стали	Условия применения сварочных материалов	Проволока по ГОСТу 2246-60	Флюс
20	Проволока Св-18ХМА рекомендуется для сварки трубопроводов, работающих в водородосодержащих средах при температуре $\leq +200^\circ\text{C}$	Св-08А	АН-348А; ОСЦ-45М
15ХМ		Св-10ХМ	АН-15; АН-22; АН-42
30ХМА		Св-18ХМА	АН-15; АН-42
18Х3МВ		Св-18ХМА; Св-08Х3МФБ	
Х5М		Св-10Х5М	

Марка свариваемой стали	Условия применения сварочных материалов	Проволока по ГОСТу 2246—60	Флюс
14ХГС	—	Св-08Г2С	АН-22; АН-348А
20Х3МВФ		Св-08Х3МФБ	АН-15; АН-42
0Х18Н10Т; Х18Н10Т	При отсутствии требований стойкости шва против межкристаллитной коррозии	Св-06Х19Н9Т; Св-04Х19Н9	АН-16; АН-26
	При наличии требований стойкости шва против межкристаллитной коррозии	Св-07Х19Н9ТЮ; Х19Н9Ф2СБ *	
Х17Н13М2Т; Х17Н13М3Т; 0Х17Н16М3Т	При отсутствии требований стойкости шва против межкристаллитной коррозии	Св-04Х19Н11М3; Св-06Х19Н10М3Т; Св-08Х18Н12М3	
	При наличии требований стойкости шва против межкристаллитной коррозии. Для сварки трубопроводов, транспортирующих среды производства мочевины, рекомендуется применять проволоку Св-04Х19Н11М3	Св-Х19Н10М3Б ** (ЭИ-902)	
0Х23Н18	—	Св-13Х25Н18; Св-07Х25Н13; Св-10Х25Н15	

* По ЧМТУ 3211—52.
** По ЧМТУ/ЦНИИЧМ 297—60.

6.2. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СВАРКИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

В табл. 6.14—6.17 приводятся рекомендуемые электроды и присадочные материалы для различных способов сварки аппаратуры из цветных металлов и сплавов.

Таблица 6.14

Рекомендуемые сварочные материалы для автоматической сварки под слоем флюса цветных металлов и сплавов (по ОН 26-01-71—68 и [1, 148, 181])

Свариваемые металлы и сплавы		Марка проволоки (ГОСТ)	Флюс
Наименование	Марка		
Алюминий	А995; А99; А97; А95	Св-АВ00 (ГОСТ 7871—63)	АН-А1; УФОК-1
	А85; А8; А7; А6; А5; А0	СВ-А1 (ГОСТ 7871—63)	
Алюминиевый сплав	АД00; АД0; АД1; АД	Св-АМц (ГОСТ 7871—63)	АН-А1Ф
	АМц; АМцС	Св-АМг5 (ГОСТ 7871—63)	АН-А1
Латунь	Л62	М0 (ГОСТ 2112—62)	МАТИ-53; БКФ-5
Титан	ВТ1-00; ВТ1-0	ВТ1-00 (АМТУ 449-1—65); ВТ1 (ТУ 961-1205—66)	АН-Т1; АН-Т3; АН-Т7
Титановые сплавы	ОТ4; ОТ4-1; ОТ4-0		

Таблица 6.15

Рекомендуемые электроды для ручной электродуговой сварки цветных металлов и сплавов
(по ОН 26-01-71-68 и [1, 84, 148, 181])

Свариваемые металлы и сплавы		Марка сварочной проволоки (ГОСТ)	Марка электродного покрытия
Наименование	Марка		
Алюминий	A995; A99; A97; A95	Св-AB00 (ГОСТ 7871-63)	АФ-4Акр (с криолитом)
	A85; A8; A7; A6; A5; A0; A	Св-А1 * (ГОСТ 7871-63)	
Алюминиевый сплав	АД00; АД0; АД1; АД		
	АМц; АМцС	Св-АМц; Св-АК5 (ГОСТ 7871-63)	А2
Медь бескислородная	МЗр	М1; М2; МЗр (ГОСТ 859-66)	«Комсомолец-100»
Латунь	Л62	ЛК 80-3 (ГОСТ 1019-47)	БЛ-3 (флюс)
	ЛЖМц 59-1-1	Бр.КМц 3-1 (ГОСТ 493-54); ЛК 80-3 (ГОСТ 1019-47)	ЗТ
Никель	НП2	НП2 (ГОСТ 2179-59)	П-2Н
Монель	НМЖМц 28-2,5-1,5	НМЖМц 28-2,5-1,5 (ГОСТ 492-52)	М30К
Никель-молибденовый сплав	Содержание молибдена от 25 до 30%	НИМО-25 (ЧМТУ 3705-53)	ХН-1

* Для сварки алюминия допускается использовать электроды марки ОЗА-1 на проволоке Св-А5С по ГОСТу 7871-63.

Таблица 6.16

Рекомендуемые сварочные материалы для газовой (ацетиленовой) сварки цветных металлов и сплавов
(по ОН 26-01-71-68 и [1, 148, 181])

Свариваемые металлы и сплавы		Марка проволоки (ГОСТ)	Флюс
Наименование	Марка		
Алюминий	A995; A99; A97; A95	Св-AB00 (ГОСТ 7871-63)	АФ-4А; УФОК-А1
	A85; A8; A7; A6; A5; A0; A	Св-А1 (ГОСТ 7871-63)	
Алюминиевый сплав	АД00; АД0; АД1; АД		
	АМц; АМцС	Св-АМц (ГОСТ 7871-63)	
Латунь	Л62	ЛК 62-0,5 (ТУ ЦМО 1327-54)	Бура обезвоженная плавная 100%-ная
	ЛС 59-1; ЛЖМц 59-1-1	ЛОК 59-1-0,3 (ТУ ЦМО 1334-54); ЛК 80-3 (ГОСТ 1019-47)	Бура плавная 70%; натрий хлористый 20%; кислота борная 10%

Таблица 6.17

Продолжение табл. 6.17

Рекомендуемый сортамент электродной и сварочной проволоки для автоматической, ацетиленовой и аргоно-дуговой сварки цветных металлов и сплавов

Наименование металла или сплава	Марка	ГОСТ или ТУ на сортамент	Диаметр проволоки, мм
Алюминий	Св-АВ00; Св-А1	ГОСТ 7871-63	1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3,0; 3,2; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12
Алюминиевые сплавы	Св-АМц; Св-АМг5		
Латунь	ЛК 62-0,5	ТУ ЦМО 1327-54	1,5; 2; 3; 4; 5; 6; 8
	ЛОК 59-1-0,3	СТУ 30-533-64	6; 8
	ЛК 80-3	—	

Наименование металла или сплава	Марка	ГОСТ или ТУ на сортамент	Диаметр проволоки, мм
Бронза	Бр.КМц 3-1	ГОСТ 5222-50	1,0; 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 5,0; 5,5; 6; 7; 8; 9; 10
Никель	НП1; НП2	ГОСТ 2771-57	1,0; 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 3,6; 4; 5; 6; 8
Медь	М0; М1; М2; МЗр	ГОСТ 2112-62	2; 3; 4; 5; 6; 7; 8
Титан	BT1-00	АМТУ 449-1-65	1,0; 1,2; 1,4; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4; 5; 6; 7

6.3. ПРИПОИ ДЛЯ МЯГКОЙ И ТВЕРДОЙ ПАЙКИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

В табл. 6.18 приводятся рекомендуемые марки припоев для мягкой и твердой пайки металлов и сплавов.

Таблица 6.18

Припой, рекомендуемые для мягкой и твердой пайки черных и цветных металлов и сплавов

Группа	Припой		Плотность ρ , кг/м ³	Интервал плавления, °С		Механические свойства припоя		Примерное назначение припоя		
	Марка	ГОСТ, ТУ		Начало	Конец	σ_{θ} , Мн/м ²	δ , %			
Припой оловянно-свинцовые (мягкие)	ПОС-30	ГОСТ 1499-54	9700	183	256	49	30	Пайка неотвественной аппаратуры из меди и латуни, работающей без давления. Лужение деталей, подвергаемых пайке. Пайка конструкций из алюминиевых бронз		
	ПОС-40		9300			56	50		Пайка ответственной аппаратуры из меди и латуни, работающей под давлением. Лужение деталей, подвергаемых пайке. Пайка деталей из никеля	
	ПОС-50		8900			209	38			54
	ПОС-61		8600			183	61			45	Пайка ответственных конструкций из меди, латуни и бронзы, к которым предъявляются требования повышенной коррозионной стойкости, надежной плотности и прочности соединений

Продолжение табл. 6.18

Припой			Плотность ρ , кг/м ³	Интервал плавления, °С		Механические свойства припоя		Примерное назначение припоя
Группа	Марка	ГОСТ, ТУ		Начало	Конец	σ_s , МН/м ²	δ , %	
Припой медно-цин- ковые (твердые)	ПМЦ 36	ГОСТ 1534—42	7700	—	825	—	—	Пайка латуней с содержанием меди до 68% (Л62; ЛС 59-1; ЛЖМц 59-1-1)
	ПМЦ 48		8200	—	865	—	—	Пайка аппаратуры из технической меди марки МЗ, бескислородной меди марки МЗр и латуней с содержанием меди выше 68%
	ПМЦ 54		8300	876	880	260	4,0	Пайка изделий из технической и бескислородной меди, бронзы различных марок, углеродистой стали марок ВМСт.Зсп, 10, 20 и др. Припой обеспечивает получение плотных и пластичных швов
Припой латунные (твердые)	Л62	ГОСТ 1019—47	8500	—	905	—	—	Пайка аппаратуры из бескислородной меди марки МЗр, бронзы и малоуглеродистой стали
	ЛК 62-0,5	ТУ ЦМО 1327—54		900		360	49	Пайка изделий из меди. Припой обеспечивает получение прочных и пластичных швов
	ЛОК 59-1-0,3	ТУ ЦМО 1334—54	8400	—	890	350	25	Пайка ответственных конструкций из бескислородной меди марки МЗр, латуни, алюминиевых и оловянистых бронз, углеродистых и высоколегированных сталей и разнородных металлов. Пайка аппаратуры, работающей под давлением, к которой предъявляются требования повышенной прочности и плотности паяных соединений
Припой серебряные (твердые)	ПСр 2,5	ГОСТ 8190—56	11000	—	305	—	—	Пайка аппаратуры, работающей при температуре от 100 до 150° С
	ПСр 12М		8500	780	825	185	—	Пайка конструкций из меди, латуни с содержанием меди более 58% и пайка сталей с латунями
	ПСр 25		8700	745	775	280	—	Пайка ответственных соединений из меди, латуни всех марок, сталей (в том числе и нержавеющей), к которым предъявляются требования повышенной прочности при ударных нагрузках и вибрации, повышенной герметичности и коррозионной стойкости, а также высокой чистоты в месте спая
	ПСр 40		8400	595	605	400	22	
	ПСр 45		9100	660	725	350	—	

Припой			Плотность ρ , кг/м ³	Интервал плавления, °С		Механические свойства припоя		Примерное назначение припоя
Группа	Марка	ГОСТ, ТУ		Начало	Конец	$\sigma_{0.2}$, Мн/м ²	δ , %	
Припой для пайки алюминия и его сплавов	34А	АМТУ 276—49	3300	525	545	>180		Пайка конструкций из алюминия всех марок и алюминиевых сплавов марок АД00, АД0, АД1, АД, АМц, АМцС, АМг2, АМг5
Теплостойкие припои для пайки стали Х18Н10Т	ВПр 1	—	8680	1080	1120	—	—	Пайка конструкций из стали Х18Н10Т, работающих при температурах до 600°С. Паяные соединения характеризуются величиной $\tau_c \geq 330$ Мн/м ² (при 20°С)
	ВПр 4	—	8030	940	980	—	—	

6.4. КЛЕИ ДЛЯ СКЛЕИВАНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В табл. 6.19 приводятся рекомендуемые марки клеев для склеивания конструкционных материалов.

Таблица 6.19

Клеи рекомендуемые для склеивания конструкционных материалов в химическом аппаратостроении [95, 105, 113, 186, 188]

Клей			Допустимый температурный интервал работы клеевых соединений, °С	Краткая характеристика клеев	Примерное назначение
Группа	Наименование и марка	Документация на состав и способ применения			
Фенольно-поливинилбутиральные	БФ-2 БФ-4	ГОСТ 12172—66; Инструкция ВИАМ 139—55; 508—54; 643—56	От —60 до +60	Клеи масло- и бензостойки, водостойки, грибостойки, вибростойки. Жидкие клеи обладают невысокой жидкотекучестью в момент прессования и плохо заполняют зазоры. Пленочные клеи более жидкотекучи и лучше заполняют зазоры	Склеивание стали, алюминиевых сплавов, чугуна, стекла, фарфора, керамики, пластмасс, дерева как между собой, так и металлов с резиной, пластмассами, деревом
Фенольно-поливинилацетальные с кремнийорганическими и другими стабилизирующими добавками	ВС-10Т	ТУ УХП 285—62	От —55 до +200	Клеи масло- и бензостойки, грибостойки, вибростойки. Клеи обладают хорошей текучестью и способностью заполнять зазоры и не требуют высокого давления при склеивании, но отличаются пониженной эластичностью и влагостойкостью. Клеевые соединения обладают невысокой прочностью при неравномерном отрыве. Клеи применяются как в жидком виде, так и в комбинации с пленками из стеклоткани, пропитанной жидким клеем	Склеивание стали, алюминиевых сплавов, стекла, текстолита и других пластмасс как между собой, так и в сочетании друг с другом. Клеи рекомендуются для соединений, работающих длительно (до 200 ч) при температуре до 200°С и кратковременно (до 5 ч) при температурах до 350°С и не испытывающих действия неравномерного отрыва
	ВС-350	ВТУ 35 ХП 390—61	От —50 до +200		

Продолжение табл. 6.19

Клей		Допустимый температурный интервал работы клеевых соединений, °С	Краткая характеристика клеев	Примерное назначение	
Группа	Наименование и марка				Документация на состав и способ применения
Фенолформальдегидные	ВК-32-200	Инструктивные указания № У 506—57 и № У 544—58; Инструкция НИИПМ № 4500—57	От —60 до +200	Клей масло- и бензостойки, водостойки, грибостойки, вибростойки. Клей отличаются высокой эластичностью клеевых соединений, но пониженной жидкотекучестью и плохо заполняют зазоры. При склеивании требуется тщательная подгонка сопрягаемых поверхностей и относительно высокие удельные давления. Клей горючи	Склеивание металлов и неметаллических материалов в конструкциях, работающих длительно (до 300 ч) при температурах до 200 и 250° С (соответственно маркам клеев) и кратковременно (до 20 ч) при температуре 300° С
	ВК-32-250		От —60 до +250		
	РАФ-10	ВТУ Б 160—59	≤120	—	Склеивание пластмасс, в том числе и фторопласта-4
Эпоксидные	ЭД-5	ГОСТ 10587—63	≤100	Клей устойчивы по отношению к воде, минеральным кислотам, щелочам, органическим растворителям. Клей грибостойки. Отвердители токсичны	Склеивание металлов, пластмасс, дерева, стекла, керамики, фарфора, металлов с пластмассами, деревом и другими материалами
	ЭД-6				
	Д-16	—	От —60 до +100	Клей масло- и бензостойки, устойчивы к разбавленным минеральным кислотам и щелочам, грибостойки. Клей пригодны для получения герметичных соединений	Склеивание в различных сочетаниях черных и цветных металлов, стекла, керамики, пластмасс и других материалов
	Д-54		От —60 до +150		
	Д-96		От —60 до +200		
ПД-20	—	От —40 до +100	Клей водо- и маслостоек, устойчив в растворителях, вибростоек	Склеивание в различных сочетаниях стали, алюминия и его сплавов, латуни, никеля, титана, текстолита и других материалов	
Метилпол-амидный	ПФЭ-2/10	ТУ УХП 268—60	От —20 до +200	Клей устойчив к маслам, жирам, углеводородам, концентрированным щелочам. Клей горюч	Склеивание алюминия, стекла, кожи, дерева, резины, керамики и металлов с пластмассами и деревом

Клей			Допустимый температурный интервал работы клеевых соединений, °С	Краткая характеристика клеев	Примерное назначение
Группа	Наименование и марка	Документация на состав и способ применения			
Полиуретановый	ПУ-2/10	ВТУ П-104—58; Инструкция НИИПМ	От -60 до +80	Клей стоек в холодной и горячей воде, по отношению к маслам и углеводородам, грибостоек, вибростоек. Клей не вызывает коррозии металлов	Склеивание металлов между собой и с неметаллическими материалами — стеклом, стеклотекстолитом, текстолитом и др.
—	Клей бакелитовый	—	От -60 до +100	Клей после бакелизации масло- и бензостоек, устойчив в воде, спиртах, органических растворителях и минеральных кислотах. Клей не стоек в щелочах. Клей вибростоек и грибостоек	Склеивание металлов, стекла, текстолита и других материалов в случаях, когда нельзя применять клеи БФ-2, БФ-4, карбинольный и др. из-за невозможности создать давление при склеивании
Каучуковые	Клей резиновый № 4508	ТУ МХП 1105—50	До 70	Клей устойчив в воде, но нестойк в маслах и бензине. В качестве растворителя применяется бензин «галоша»	Склеивание сырой резины марок 4476, 2566, 1976-М, 4849 и 829 в процессе вулканизации; приклеивание этих резин к металлу (в комбинации с клеем 2572)
	Клей термопреновый	ТУ НКХП 351—Н	До 60		Приклеивание к металлам листового полиизобутилена ПСГ и сырых резин марок 4476, 2566, 1976-М, 4849, 829 и ИРП-1025 в процессе вулканизации и вулканизированных резин с последующим прогревом
	2572	Технологический регламент завода «Каучук» 104—6120	До 70	Клей устойчив в воде, бензине и маслах. В качестве растворителя применяется бензин «галоша»	Приклеивание к стали, алюминию, латуни, бронзе (кроме оловянистой) сырых эбонитов и склеивание эбонитовых заготовок в процессе вулканизации
	Лейконат	ТУ МХП № 2841—52 (с изм. № 1)	До 150	—	Крепление к стали и латуни сырых резин марок 4476, 2566, 1976-М, 4849, 829, ИРП-1025, 8 ЛТИ и 341 в процессе их вулканизации

Продолжение табл. 6.19

Группа	Клей		Допустимый температурный интервал работы клеевых соединений, °С	Краткая характеристика клеев	Примерное назначение
	Наименование и марка	Документация на состав и способ применения			
Каучуковые	88-Н	МРТУ 38-5-880—66	До 70	Клей устойчив в воде, бензине, маслах	Приклеивание к металлам листового полиизобутилена ПСГ, холодное крепление к стали, дереву, бетону и другим материалам вулканизированных резин марок 4476, 2566, 1976-М, 4849, 829, ИРП-1025, 8 ЛТИ и 343 и кислотощелочестойкой листовой резины по ГОСТу 7338—65
	Клей карбинольный	АМТУ 391—57	От —60 до +60	Клей масло- и бензостоек, водостоек при склеивании непористых материалов, вибростоек, грибостоек	Склеивание в различных сочетаниях стали, алюминия и его сплавов, чугуна, стекла, фарфора, пластмасс, дерева с металлом и других материалов
	Термопреновый № 8		До 80	Клей водостоек, но неустойчив по отношению к бензину и маслам. В качестве растворителя применяется стирол	Приклеивание к металлу, бетону, дереву и другим конструкционным материалам листового полиизобутилена ПСГ и полиизобутилена без наполнителя
	Термопреновый № 61		До 70	Клей водостоек, но неустойчив по отношению к бензину и маслам. В качестве растворителя применяется бензин «га-лоша»	
	200	Инструкция НИИРП	До 90	—	Крепление к стали, алюминию сырых резин на основе полихлоропреновых каучуков, саженополненных сырых резин на основе натурального бутадиенстирольного и бутадиеннитрильного каучуков в процессе вулканизации
	201	—	До 100	Клей устойчив в воде, маслах и бензине. В качестве растворителя применяется ксилол	Крепление резин на основе натурального каучука, наирита к стали и алюминию с последующей вулканизацией

6.5. КИСЛОУПОРНЫЕ ЗАМАЗКИ, ЦЕМЕНТЫ И ГЕРМЕТИКИ

В табл. 6.20 приводятся рекомендуемые кислотощелочестойкие замазки, цементы и герметики.

Таблица 6.20

Рекомендуемые склеивающие и герметизирующие материалы для химической аппаратуры [96, 186]

Материалы		Плотность ρ , кг/м ³	Краткая характеристика материала	Примерное назначение	Предел прочности, Мн/м ² , не менее	
Наименование, марка	ТУ				при растя- жении	при сжатии
Арзамит 1	М-522—54	1150	Замазки типа арзамит готовятся на основе фенолформальдегидной резольной смолы с порошкообразным наполнителем и кислотным отвердителем. Замазки водонепроницаемы и затвердевают на холоде. Замазки устойчивы к действию растворов неорганических кислот и солей, к солициловой, малеиновой, бензойной кислотам, бензину, хлорбензолу. Замазка арзамит 1 — кислотостойкая, арзамит 2 — кислотощелочестойкая, арзамит 4 и арзамит 5 — кислотощелочестойкие теплопроводные, арзамит 6 — химически- и теплостойкая до температуры 250°С, арзамит 7 — кислотощелочестойкая, не дающая усадки при схватывании	Применяется при футеровке емкостной аппаратуры кислотоупорным кирпичом и керамическими плитками, а также для склеивания деталей аппаратуры из фаолита	3	30
Арзамит 2						
Арзамит 4	ТУ 6-16-1133—67	1200		Применяется при футеровке емкостной аппаратуры плитками из антегмита АТМ-1, АТМ-1Г, АТМ-10, а также для склеивания деталей аппаратуры из углеграфитовых материалов	5	60
Арзамит 5	СТУ 58-009—59					
Арзамит 6		—			—	—
Арзамит 7						
Цемент глетоглицериновый		2900	—	Применяется для склеивания деталей из керамики и кварцевого стекла	2,4	—
У-30М		1400	Тиоколовый герметик, самовулканизирующийся при температуре 70°С через 2—3 ч, при 50°С — через 3—4 ч, при 18—20°С — через 24—48 ч. Допустимая температура эксплуатации герметика на воздухе от —40 до +70°С и в жидком топливе от —60 до +130°С. Герметик не обладает адгезией к металлу, поэтому его наносят на подслои из клея 88-Н или эпоксиднотиоколового клея К-50	Применяется для поверхностной герметизации металлических изделий, имеющих резьбовые, сварные или заклепочные соединения и нуждающиеся в уплотнении. Герметик наносится на изделие при помощи шпателя или шприца	2,0 (на отрыв)	—

Г Л А В А 7

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОКЛАДОК И НАБИВОК

В табл. 7.1 и 7.2 приведены рекомендуемые металлические и неметаллические прокладочные материалы для фланцевых соединений аппаратов и трубопроводов химических производств, а в табл. 7.3 — прокладочные материалы для резьбовых соединений трубопроводов.

В табл. 7.4 представлены рекомендуемые пропиточные составы и обмазки для прокладок из паронита и картона,

в табл. 7.5 — рекомендуемые материалы для набивок сальников аппаратуры, в табл. 7.6 — рекомендуемый сортament неметаллических материалов для прокладок фланцевых соединений и набивок сальников аппаратуры.

В табл. 7.7 приведены некоторые физико-механические свойства прокладочных резин.

Таблица 7.1

Рекомендуемые металлические прокладочные материалы для фланцевых соединений аппаратов и трубопроводов химических производств (по данным НИИхиммаша)

Материал (ГОСТ, ТУ)	Температура среды, °С, не более	Сортament		Материал (ГОСТ, ТУ)	Температура среды, °С, не более	Сортament	
		Вид полу- фабриката (ГОСТ, ТУ)	Толщина или диаметр, мм			Вид полу- фабриката (ГОСТ, ТУ)	Толщина или диаметр, мм
Алюминий марок А95, А85, А8, А7, А6, А5, А0, А (ГОСТ 11069—64)	425	Лист (ГОСТ 1946—50)	2; 3; 4; 5; 6	Сталь Х18Н9, Х18Н9Т (ГОСТ 5632—61)	425	Проволока (ГОСТ 5548—50)	3; 4; 5; 6
		Проволока (ГОСТ 7871—63)	3; 4; 5; 6; 7; 8	Никель Н1, Н2 (ГОСТ 492—52)	760	Лист (катодный) (ГОСТ 849—56)	2; 3; 4; 5
Медь марок М1, М2 (ГОСТ 859—66)	315	Лист (ГОСТ 495—50)	2,5; 3; 4; 5; 6			Монель НМЖМц 28-2,5-1,5 (ГОСТ 492—52)	815
		Проволока (ГОСТ 2112—62)	2; 3; 4; 5; 6; 7; 8	Лист (ГОСТ 5063—49)	2; 3; 4; 5; 6		
Сталь Х18Н9, Х18Н9Т (ГОСТ 5632—61)	425	Лист (ГОСТ 3680—57)	2; 3	Свинец С1, С2, С3 (ГОСТ 3778—65)	100	Проволока (ЧМТУ 2008—47)	3; 4; 5; 6
		Лист (ГОСТ 5681—57)	4; 5; 6; 8			Лист (ГОСТ 9559—60)	1; 2; 3; 4; 5; 6

Таблица 7.2

Рекомендуемые неметаллические прокладочные материалы для фланцевых соединений аппаратов и трубопроводов химических производств [169]

Материал (ГОСТ, ТУ)	Допустимые рабочие среды	Предельно допустимые рабочие параметры среды	
		$t_r, ^\circ\text{C}$	$p_p, \text{Мн/м}^2$
Фторопласт-4 (ГОСТ 10007—62)	Все агрессивные среды любой концентрации за исключением элементарного фтора при повышенной и высокой температурах	От —254 до +250	40 *
Асбоалюминий; асбо- сталь (гофрированные прокладки)	Фреоны всех марок любой концентрации	500	10
	Хлор (сухой газ); сернистый газ; окислы азота; промышленные газы (генераторный, коксовый, конвертированный, крекинг-газ); кислород; озон; двуокись углерода; щелочи любой концентрации (едкий натр, едкое кали, аммиак жидкий)	300	4
	Вода, водяной пар		2,5

Г Л А В А 7

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОКЛАДОК И НАБИВОК

В табл. 7.1 и 7.2 приведены рекомендуемые металлические и неметаллические прокладочные материалы для анцевых соединений аппаратов и трубопроводов химических производств, а в табл. 7.3 — прокладочные материалы для резьбовых соединений трубопроводов.

В табл. 7.4 представлены рекомендуемые пропиточные ставы и обмазки для прокладок из паронита и картона,

в табл. 7.5 — рекомендуемые материалы для набивок сальников аппаратуры, в табл. 7.6 — рекомендуемый сортament неметаллических материалов для прокладок фланцевых соединений и набивок сальников аппаратуры.

В табл. 7.7 приведены некоторые физико-механические свойства прокладочных резин.

Таблица 7.1

Рекомендуемые металлические прокладочные материалы для фланцевых соединений аппаратов и трубопроводов химических производств (по данным НИИхиммаша)

Материал (ГОСТ, ТУ)	Температура среды, °С, не более	Сортament		Материал (ГОСТ, ТУ)	Температура среды, °С, не более	Сортament	
		Вид полуфабриката (ГОСТ, ТУ)	Толщина или диаметр, мм			Вид полуфабриката (ГОСТ, ТУ)	Толщина или диаметр, мм
Алюминий марок А95, А85, А8, А7, А6, А5, А0, А (ГОСТ 11069—64)	425	Лист (ГОСТ 1946—50)	2; 3; 4; 5; 6	Сталь Х18Н9, Х18Н9Т (ГОСТ 5632—61)	425	Проволока (ГОСТ 5548—50)	3; 4; 5; 6
		Проволока (ГОСТ 7871—63)	3; 4; 5; 6; 7; 8	Никель Н1, Н2 (ГОСТ 492—52)	760	Лист (катодный) (ГОСТ 849—56)	2; 3; 4; 5
Медь марок М1, М2 (ГОСТ 859—66)	315	Лист (ГОСТ 495—50)	2,5; 3; 4; 5; 6			Монель НМЖМц 28-2,5-1,5 (ГОСТ 492—52)	815
		Проволока (ГОСТ 2112—62)	2; 3; 4; 5; 6; 7; 8	Лист (ГОСТ 5063—49)	2; 3; 4; 5; 6		
Сталь Х18Н9, Х18Н9Т (ГОСТ 5632—61)	425	Лист (ГОСТ 3680—57)	2; 3	Свинец С1, С2, С3 (ГОСТ 3778—65)	100	Проволока (ЧМТУ 2008—47)	3; 4; 5; 6
		Лист (ГОСТ 5681—57)	4; 5; 6; 8			Лист (ГОСТ 9559—60)	1; 2; 3; 4; 5; 6

Таблица 7.2

Рекомендуемые неметаллические прокладочные материалы для фланцевых соединений аппаратов и трубопроводов химических производств [169]

Материал (ГОСТ, ТУ)	Допустимые рабочие среды	Предельно допустимые рабочие параметры среды	
		t, °С	p _p , Мн/м ²
Фторопласт-4 (ГОСТ 10007—62)	Все агрессивные среды любой концентрации за исключением элементарного фтора при повышенной и высокой температурах	От —254 до +250	40 *
Асбоалюминий; асбо-сталь (гофрированные прокладки)	Фреоны всех марок любой концентрации	500	10
	Хлор (сухой газ); сернистый газ; окислы азота; промышленные газы (генераторный, коксовый, конвертированный, крекинг-газ); кислород; озон; двуокись углерода; щелочи любой концентрации (едкий натр, едкое кали, аммиак жидкий)	300	4
	Вода, водяной пар		2,5

Материал (ГОСТ, ТУ)	Допустимые рабочие среды	Предельно допустимые рабочие параметры среды	
		$t_c, ^\circ\text{C}$	$p_p, \text{Мн/м}^2$
Пластикат (ВТУ МХП 2024—49)	Инертные газы (азот, водород и др.); аммиак жидкий и газообразный; сернистый ангидрид; кислоты: азотная 50%-ная, соляная 60, фосфорная 100, плавиковая 50, уксусная 100, муравьиная 50, фтористоводородная 60, кремнефтористоводородная 32,5%-ная; растворы солей любой концентрации: алюминия азотнокислого, сернокислого, хромистокислого; меди сернокислой, хлористой, цианистой; магния сернокислого, хлористого; кальция хлористого и хлорноватистокислого	От -15 до +40	10
	Хлор (сухой газ); кислород; озон; щелочи 100%-ной концентрации (едкий натр, едкое кали); хлоруксусная кислота 100; растворы солей 100%-ной концентрации: алюминия хлористого; железа сернокислого (закисного и окисного); калия сернокислого и сернистокислого; олова хлористого; цинка хлористого; анилина солянокислого	От -15 до +20	
	Сернистый газ; окислы азота	От -15 до +50	0,6
Паронит (ГОСТ 481—58)	Водяной пар; воздух	495	6,4
	Инертные газы (азот, водород и др.); углеводородные газы (бутан и др.); промышленные газы (генераторный, коксовый, конвертированный, крекинг-газ); агрессивные газы (хлор сухой, окислы азота, сернистый газ, нитрогазы); нефтепродукты (бензин, керосин и др.)	490	
	Вода	300	2,5
	Едкий натр 50%-ный; едкое кали 50; аммиак жидкий 100%-ный	150	
	Кислоты: азотная 10%-ная, серная 50, уксусная 97; никель азотнокислый 50; фенол 50; триэталомин 50%-ный; фреоны любых марок (газообразные)	100	
Резина листовая техническая (ГОСТ 7338—65); резина марок: ИРП-1225; ИРП-1256; ИРП-1257; ИРП-1258; ИРП-1259; ИРП-1287; ИРП-1285 (по соответствующим ВТУ НИИРП, см. табл. 7.6 и 7.7)	Вода	100	3
	Щелочи 50%-ной концентрации (едкие натр и кали); аммиак жидкий 100%-ный	От -30 до +80	1
	Хлор (сухой газ); сероводород; двуокись углерода; кислоты любой концентрации: соляная, борная, сернистая, винная, мышьяковая; кислоты: серная 50%-ная, фосфорная 85%-ная, фтористоводородная 50%-ная; ацетон; ненасыщенные растворы солей: алюминия азотнокислого, сернокислого, хромистокислого; бария сернокислого; железа сернокислого (закисного и окисного); калия двухромовокислого; сернокислого и сернистокислого; бисульфата калия; кальция кислого сернистокислого, хлористого, хлорноватистокислого; меди сернокислой, хлористой, цианистой; натрия кислого сернистокислого, цианистого; никеля уксуснокислого; серебра азотнокислого; растворы солей любой концентрации: анилина солянокислого; магния хлористого и сернокислого; натрия азотнокислого, сернистого, углекислого и хлористого; олова хлористого; растворы хлористого цинка 50%-ной концентрации	От -30 до +65	

Продолжение табл. 7.2

Материал (ГОСТ, ТУ)	Допустимые рабочие среды	Предельно допустимые рабочие параметры среды	
		$t_c, ^\circ\text{C}$	$p_p, \text{Мн/м}^2$
Картон асбестовый (ГОСТ 2850—58)	Метиловый спирт; ацетон; триэтаноламин; этиленгликоль; бутан жидкий; четыреххлористый углерод; диэтиленгликоль	400	2
	Углеводороды жидкие; раствор солей любой концентрации: алюминия азотнокислого, сернокислого, хлористого и хромистокислого; бария сернокислого; железа сернокислого (закисного и окисного); калия двухромовокислого, сернокислого и сернистокислого; бисульфата калия; кальция кислого сернистокислого, хлористого и хлорноватистокислого; магния сернокислого и хлористого; меди сернокислой; хлористой и цианистой; натрия азотнокислого, сернистокислого, сернистого, углекислого, хлористого и цианистого; никеля азотнокислого и уксуснокислого; олова хлористого; серебра азотнокислого; цинка хлористого; сера (жидкая); сернистый ангидрид; триэтаноламин; фенол		0,6
	Агрессивные газы (хлор, окислы азота, кислород, сернистый газ); кислоты 98%-ной концентрации (азотная, борная, сернистая, соляная, фосфорная, уксусная, хлоруксусная)	300	
Картон прокладочный марок А и Б (ГОСТ 9347—60)	Инертные газы (азот, водород и др.); вода; пар водяной; воздух; органические растворители и углеводороды; нефтепродукты (бензин, керосин и др.)	120	1
	Метиловый спирт; ацетон; триэтаноламин; этиленгликоль; бутан жидкий; четыреххлористый углерод; углеводороды жидкие; диэтиленгликоль	85	0,6

* Для прокладок, помещаемых «в замок», например для уплотнительных поверхностей типа шип—паз. Плоские прокладки из фторопласта-4 на открытых фланцах можно применять только при удельном давлении на прокладку не свыше 3 Мн/м² и при температуре среды около 20° С.

Таблица 7.3

Рекомендуемые прокладочные материалы для резьбовых соединений трубопроводов химических производств [56]

Материал (ГОСТ, ТУ)	Допустимые рабочие среды	Допускаемая температура среды, °С	Допускаемое избыточное давление среды, Мн/м ²	
			при температуре до 30° С	при максимальной допускаемой температуре
Алюминий марок А95, А85, А8, А7, А6, А5, А0, А (ГОСТ 11069—64)	Нефть, масло и другие нефтепродукты	От +300 до +400	Зависит от конструктивной прочности соединения	6
	Воздух; водяной пар	300		2
Медь марок М1 и М3 (ГОСТ 859—66)	Воздух; фреоны любой марки; горячие газы; двуокись углерода; нефтяное топливо; смазочное масло	200		20
	Пар насыщенный и перегретый	250		3,5

Продолжение табл. 7.3

Материал (ГОСТ, ТУ)	Допустимые рабочие среды	Допускаемая температура среды, °С	Допускаемое избыточное давление среды, Мн/м ²	
			при температуре до 30° С	при максимальной допускаемой температуре
Паронит (ГОСТ 481—58)	Пар насыщенный и перегретый; газы инертные; газы дымовые	400	Зависит от конструктивной прочности соединения	5
	Вода морская и пресная (кроме питьевой) при давлении свыше 0,6 Мн/м ² ; воздух	250		
	Кислород жидкий и газообразный	От —182 до —62	—	0,25
Картон прокладочный марки А (ГОСТ 9347—60)	Бензин, керосин	30	1	1
Картон прокладочный марки Б (ГОСТ 9347—60)	Нефть; мазут; газойль; масло нефтяное; воздух; вентиляционные газы; вода питьевая	90		0,6
Фибра ФТ (ГОСТ 6910—54)	Нефтяное топливо; смазочное масло; кислород; двуокись углерода	От —30 до +100	80	8
Фибра ФЛАК (ГОСТ 3335—46)	Нефть; мазут; газойль; масло нефтяное	От —30 до +100	80	6,4
Резина листовая техническая (ГОСТ 7338—65)	Вода; слабые растворы кислот и щелочей (концентрации до 20%); рассол; бензин; керосин; нефтяное масло	От —30 до +50	0,6	0,3

Таблица 7.4

Рекомендуемые пропиточные составы и обмазки для прокладок из паронита и картона

Пропитывающие составы и обмазки	Условия применения		Пропитывающие составы и обмазки	Условия применения	
	t _c , °С не более	Среда		t _c , °С не более	Среда
Парафин (расплавленный)	50	Кислоты: азотная (концентрации >55%), серная (концентрации <93%), соляная и др.; агрессивные газы: хлор, окислы азота, сернистый газ; нитрозные газы и др.	Стекло жидкое модуля 2,6—2,8 (3 масс. ч), разбавленное водой (1 масс. ч)	300	Минеральные кислоты всех концентраций (за исключением плавиковой)
Смесь парафина (20%), графита серебристого (7%) с маслом вискозини, нигрол или авиамаслом (73%)				400	Агрессивные газы: аммиак, окислы азота, сернистый газ, хлор, хлористый водород и др.
Битум БН-III (расплавленный)					
Смесь нефтяного гудрона (50%), каменноугольной смолы (40%) и парафина (10%)	70				
Пек, каменноугольная смола или кузбасслак	130				

Продолжение табл. 7.4

Пропитывающие составы и обмазки	Условия применения		Пропитывающие составы и обмазки	Условия применения	
	$t_c, ^\circ\text{C}$ не более	Среда		$t_c, ^\circ\text{C}$ не более	Среда
Сурик свинцовый или железный на олифе	180	Органические кислоты; глицерин; щелочи; водяной пар	Смесь мыла ядрового (60%) с глицерином техническим (40%)	40	Легкие нефтепродукты
Смесь белил свинцовых (65%) с суриком свинцовым (35%) на олифе			Графит молотый (25%) с маслом vapor (75%)	>180	Водяной пар

Таблица 7.5

Рекомендуемые материалы для набивок сальников химической аппаратуры
(по данным НИИхиммаша и по [57, 186])

Материал (ГОСТ, ТУ)	Смазка или пропиточный состав	Условия применения		Среда
		$t_c, ^\circ\text{C}$	$p_p, \text{Мн/м}^2$	
		не более		
Фторопластовый уплотнительный материал ФУМ (МРТУ 6-05-870—66)	Вазелин (для ФУМ-В); фтороуглерод (для ФУМ-Ф); кремнийорганика (для ФУМ-К)	От -60 до +150	6,4	Все агрессивные среды любой концентрации за исключением элементарного фтора при повышенной и высокой температуре
Шнур асбестовый с медной проволокой	Сало	400	4,5	Пар водяной
		120	4,0	Нефтепродукты тяжелые
Шнур асбестовый (ГОСТ 1779—55)	Стекло жидкое	400	2,5	Газы и пары окисляющие
	Графит	300		
	Графит; сало			Пар водяной
	Сало	150	1,0	Вода; нейтральные растворы солей
	Графит		0,6	Концентрированные минеральные кислоты (азотная, серная и др.); сильно окисляющие растворы солей; органические растворители; углеводороды; масла
	Полихлорвинил	60		Концентрированные минеральные кислоты (азотная, серная и др.); разбавленные растворы кислот и солей; газы и пары окисляющие; сильно окисляющие растворы солей
	Парафин	40		Концентрированные минеральные кислоты (азотная, серная и др.); сильно окисляющие растворы солей
	Без смазки и пропитки	400		Газы и пары инертные
200		Растворы щелочей (едкий натр, едкое кали, аммиак и др.)		

Материал (ГОСТ, ТУ)	Смазка или пропиточный состав	Условия применения		Среда
		$t_c, ^\circ\text{C}$	$p_p, \text{Мн/м}^2$	
		не более		
Шнур пеньковый	Сало	60	4,0	Вода; нейтральные растворы солей
	Парафин		0,6	Разбавленные растворы кислот и щелочей
	Без смазки и пропитки	85		Органические растворители; углеводороды; масла
Шнур хлопчатобумажный; шнур пеньковый	Сало	60	3,0	Газы и пары инертные
	Без смазки и пропитки		0,6	Растворы щелочей (едкий натр, едкое кали, аммиак и др.)
	Сало	40			Нефтепродукты тяжелые
	Мыло ядровое (60 масс. ч); глицерин технический (40 масс. ч)			Нефтепродукты легкие
Шнур прорезиненный	Без смазки и пропитки	60	4,0	Вода; нейтральные растворы солей
			1,6	Разбавленные растворы кислот и щелочей

Таблица 7.6

Рекомендуемый сортамент неметаллических материалов для прокладок фланцевых соединений и набивок сальников химической аппаратуры (по данным НИИхиммаша и по [202])

Материал	ГОСТ, ТУ	Плотность $\rho, \text{кг/м}^3$	Вид полуфабриката	Сортамент	
				Толщина, диаметр, мм	Размеры листов, длина шнуров, мм
Картон прокладочный марки А (пропитанный)	ГОСТ 9347-60	800-850	Листы	0,5; 0,8; 1,0; 1,5	По соглашению сторон
Картон прокладочный марки Б (непропитанный)				0,5; 0,8; 1,0; 1,5; 2; 2,5	
Картон асбестовый	ГОСТ 2850-58	1000-1300		2; 2,5; 3; 3,5; 4; 6; 8; 10	900×900; 900×1000; 1000×1000
Паронит	ГОСТ 481-58	1500-2000		1; 1,5; 2; 3; 4	Ширина 300-1200; длина 400-1700
Паронит-56	ТУ Т-773 литер А (с изм. № 3, 5)	1600-1900		0,5; 0,6; 1; 1,5; 2; 2,5	500×500; 950×1000; 700×1200
Паронит-56 (графитированный)	ТУ Т-774 литер А (с изм. № 2, 4)			0,5; 1; 1,5; 2	550×550

Продолжение табл. 7.6

Материал	ГОСТ, ТУ	Плотность ρ , кг/м ³	Вид полуфабриката	Сортамент	
				Толщина, диаметр, мм	Размеры листов, длина шнуров, мм
Паронит УВ-10	ТУ 1369—50р (с дополнением)	1500—2000	Листы	От 0,4 до 2	550×550
Паронит ЭЧ	ТУ ШАУ 43—54	2000		От 1 до 7,5	1200×2800
Прессшпан марок А и Б	ГОСТ 6983—54	900		От 0,7 до 1,2	По соглашению сторон
Фибра марки ФПК	ГОСТ 6910—54	1100		От 0,6 до 12	Ширина 550—700 и 1100—1400; длина 850—1500 и 1700— 2300
Асботекстолит	МРТУ 6-05-898—63	1800	Плиты	4	Ширина 600—900; длина 900—1400
Текстолит марки МА	ТУ МХП 488—50 (с изм. № 2)	1300—1600	Листы	0,5; 0,8; 1; 1,6; 2; 2,5; 3	250×250 и боль- ших размеров
Пластикат полихлор- виниловый	ТУ МХП 2024—49 (с изм. № 1)	1300—1500		От 1 до 5	600×1000 и боль- ших размеров
Винипласт	МРТУ 6-05-1025—66	1450	Пленка калан- дрированная	От 0,3 до 1	Ширина 600—800; длина \geq 1000
	ГОСТ 9639—61		Листы	1; 2; 3; 4	550×1350.
Полнэтилен	ТУ 44-30—55;	960	Пленка	До 1	По соглашению сторон
	ВТУ МХП 4138—55 (с изм. № 1)		Листы	От 2 до 10	
Фторопласт-3	МРТУ 6-05-946—65 (с изм. № 1)	2090				От 1 до 4
Фторопласт-4	СТУ М 810—59 (с изм. № 1, 2, 3, 4); ГОСТ 10007—62	2100—2300	Пластины	От 2 до 30	200×200
				От 2 до 60	По соглашению сторон
	МРТУ 6-05-1071—67		Лента	0,1; 0,2	Ширина 40—120; длина \geq 40 000
	ТУ 35-ХП-357—62		Пластины холод- нотянутые зака- ленные (ХТЗ)	От 0,8 до 2	Ширина 25—450; длина 25—450
		Пластины холод- нотянутые незака- ленные (ХТН)	От 1,6 до 20	Ширина 25—600; длина 25—600	

Продолжение табл. 7.6

Материал	ГОСТ, ТУ	Плотность ρ , кг/м ³	Вид полуфабриката	Сортамент		
				Толщина, диаметр, мм	Размеры листов, длина шнуров, мм	
Фторопластовый уплотнительный материал (ФУМ): ФУМ-В; ФУМ-Ф; ФУМ-К	МРТУ 6-05-870—66	2500	Шнур круглый	От 1 до 5	Длина \geq 1000	
			Шнур квадратный	От 3×3 до 8×8		
			Шнур прямоугольный	От 2×4 до 2×8		
Асбест	ГОСТ 1779—55	2500	Шнур круглый	От 3 до 25	По соглашению сторон	
Резина техническая кислотощелочестойкая, теплостойкая, маслбензостойкая, морозостойкая	ГОСТ 7338—65	1500	Пластина	От 0,5 до 50	Ширина 200—1750; длина 500—10 000	
Резина теплостойкая марок 14р-2; 5р-129; 14р-6; 14р-15	МРТУ 38-5-6074—67			От 1 до 8	100×100; 250× ×250; 500×500	
Резина марки ИРП-1225	МРТУ 6-07-6031—64		Шнур круглый	До 20	По соглашению сторон	
Резина марки ИРП-1256	ВТР № 20416		Пластина	До 10	250×250; 300× ×300; 500×500	
Резина марки ИРП-1257	ВТР № 20417			До 5	150×150	
Резина марки ИРП-1258	ВТР № 20418					
Резина марки ИРП-1259	ВТР № 20419					
Резина марки ИРП-1287	МРТУ 38-5-6056—65		Шнур круглый	До 20	По соглашению сторон	
Резиноподобный материал марки ИРП-1285	ВТУ ИРП 6-5-15—62		1500	Пластина	До 8	250×250; 300× ×300; 500×500
				Шнур круглый	До 20	По соглашению сторон
		Пластина		До 8	250×250; 300× ×300; 500×500	

Таблица 7.7

Физико-механические свойства резин

Тип и марка	ГОСТ, ТУ или ТР	σ_{θ} , МН/М ² , не менее	Твердость по			Температура, °С	
			ТШМ-2	ТИР	Шору	максимальная при эксплуатации	хрупкости
Резина техническая кислото-щелочестойкая	ГОСТ 7338—65	3,5	4—20	—	—	50	—30
Резина техническая тепло-стойкая		4,0	4,5—2,6			90	
Резина техническая масло-бензостойкая		4,5	4—12			50	
Резина техническая, морозо-стойкая		4,0	4—20			—45	
Резина теплостойкая марки 14р-2	МРТУ 38-5-6074—67	2,2	—	—	250	—60	
Резина теплостойкая марки 5р-129		2,5					
Резина теплостойкая марок 14р-6 и 14р-15		200					
Резина ИРП-1225	МРТУ 6-07-6031—64	14,0	80—90	От —22 до —35			
Резина ИРП-1256	ВТР № 20416 НИИРП	15,0	—	64±2	110	—	
Резина ИРП-1257	ВТР № 20417 НИИРП	11,0		54—58			
Резина ИРП-1258	ВТР № 20418 НИИРП	10,0		70±2			
Резина ИРП-1259	ВТР № 20419 НИИРП	9,0		80±2			
Резина ИРП-1287	МРТУ 38-5-6056—65	12,7		65—80			200	—20
Резиноподобный материал марки ИРП-1285	ВТУ ПРП 6-5-15—62	4,0	70—80	250	—74		

ГЛАВА 8

ОПТОВЫЕ ЦЕНЫ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Для изготовления химической аппаратуры, работающей в агрессивных средах, в основном применяются дорогостоящие конструкционные материалы, что существенно отражается на общей стоимости оборудования. Важной задачей при проектировании является выбор наиболее дешевых и менее дефицитных материалов, удовлетворяющих всем другим требованиям, вытекающим из условий эксплуатации аппаратуры (достаточной прочности, коррозионной стойкости, долговечности и т. д.). Поэтому наряду с другими данными конструктор должен располагать также информацией о стоимости применяемых кон-

струкционных материалов, используемой при выполнении технико-экономических расчетов и составления сметно-финансовых расчетов.

Оптовые цены * на прокатно-тянутые изделия (листы, сортовой прокат, трубы), поковки, штамповки и отливки из черных металлов и сплавов приведены в табл. 8.1—8.13, а из цветных металлов и сплавов — в табл. 8.14—8.23. Оптовые цены на неметаллические материалы приведены в табл. 8.24 и на лакокрасочные материалы — в табл. 8.25.

Таблица 8.2

Таблица 8.1
Оптовые цены (в руб.) 1 т тонколистовой стали
[126, 127]

Марка стали	ГОСТ или ТУ	Толщина листа, мм			
		1	2	3	
ВМСт.3кп	ГОСТ 501—58	122	99	98	
ВМСт.3сп		131	107	106	
0Х13	ГОСТ 5582—61, гр. II-A	529	492	488	
0Х17Т		655	605	599	
1Х17Н2		869	807	801	
Х28		895	828	819	
Х25Т		911	843	835	
Х14Г14Н3Т		967	900	890	
0Х21Н5Т		989	918	909	
1Х21Н5Т		997	925	916	
Х16Н6		ЧМТУ/ЦНИИЧМ 822—62	1020	959	—
Х28АН		ГОСТ 5582—61, гр. II-A	1040	950	940
Х18Н10Т	1190		1100	1090	
Х15Н9Ю	1290		1210	1200	
0Х18Н10Т	1300		1220	1210	
0Х21Н6М2Т	1790		1600	1580	
Х17Н13М2Т	2050		1920	1900	
0Х17Н16М3Т	2620		2430	2400	
0Х23Н28М3Д3Т	3350		3110	3070	

Оптовые цены (в руб.) 1 т толстолистовой стали
[126, 127]

Марка стали	ГОСТ или ТУ	Толщина листа, мм			
		4—8	10—32	39—50	52—60
ВМСт.3кп	ГОСТ 500—58	98	103	104	104
ВМСт.3сп; ВМСт.5сп		106	111	112	112
20	ГОСТ 1577—53	110	121	122	124
16ГС (ЗН)	ГОСТ 5520—62	115	122	123	123
09Г2С (М)		118	125	126	126
10Г2С1 (МК)		120	129	130	130
10Г2	ГОСТ 1577—53	133	137	138	150
12МХ	ЧМТУ 5759—57	241	247	250	270
12ХМ		265	273	276	298
Х5М	ГОСТ 7350—66	285	291	294	319
0Х13		313	318	321	350
0Х17Т		380	389	394	433
06Н8	ЧМТУ/ЦНИИЧМ 1063—63	385	397	401	433
1Х17Н2	ГОСТ 7350—66	513	524	530	578
Х25Т		534	545	551	602
Х14Г14Н3Т		558	571	579	638
1Х21Н5Т		577	592	599	667
0Х22Н5Т		584	601	610	684

* По прейскурантам 1967 г.

Продолжение табл. 8.2

Марка стали	ГОСТ или ТУ	Толщина листа, мм			
		4-8	10-32	39-50	52-60
X28AH; X28H4	ЧМТУ 5790-57	604	619	—	—
X18H10T	ГОСТ 7350-66	728	743	750	815
X16H6	ЧМТУ/ЦНИИЧМ 876-63	736	750	—	—
OX18H10T	ГОСТ 7350-66	803	818	826	899
OX21H6M2T		1030	1050	1050	1180
X17H13M2T		1270	1290	1300	1420
OX18H12M2T	ЧМТУ/ЦНИИЧМ 222-59	1300	1320	1330	1450
OX18H12B	ГОСТ 7350-66	1330	1350	1360	1510
X17H13M3T		1520	1550	1570	1710
OX17H16M3T		1610	1650	1670	1820
OX23H28M3Д3T		2020	2060	2080	2290

Продолжение табл. 8.3

Марки стали	Толщина листа, мм					
	4	6-10	12-14	16-32	34-50	52-60
ВМСт.3сп + X18H10T	555	510	505	498	466	475
20K + X18H10T	568	523	518	510	478	488
16ГС + X18H10T	572	527	522	514	482	492
09Г2С + X18H10T	577	532	527	519	487	497
ВМСт.3сп + OX18H10T	633	593	581	521	486	496
20K + OX18H10T	646	605	593	532	496	508
16ГС + OX18H10T	651	608	597	537	502	512
09Г2С + OX18H10T	656	614	602	542	507	517
ВМСт.3сп + X17H13M2T	807	755	740	644	587	598
20K + X17H13M2T	818	766	751	655	598	610
16ГС + X17H13M2T	823	771	756	659	602	614
09Г2С + X17H13M2T	829	776	760	664	607	620
ВМСт.3сп + X17H13M3T	891	834	818	701	628	641
20K + X17H13M3T	924	865	848	729	655	668
16ГС + X17H13M3T	928	869	852	733	658	671
09Г2С + X17H13M3T	930	873	856	737	663	676
ВМСт.3сп + + OX23H28M3Д3T	1080	1010	989	815	717	732
20K + OX23H28M3Д3T	1100	1030	1010	842	743	757
16ГС + OX23H28M3Д3T	1100	1030	1010	845	746	761
09Г2С + OX23H28M3Д3T	1110	1040	1020	850	751	766

Таблица 8.3

Оптовые цены (в руб.) 1 т двухслойной листовой стали по ГОСТу 10885-64 [127]

Марки стали	Толщина листа, мм					
	4	6-10	12-14	16-32	34-50	52-60
ВМСт.3сп + OX13	315	295	293	283	274	282
20K + OX13	325	306	304	294	285	293
16ГС + OX13	328	309	307	297	288	296
12МХ + OX13	511	492	490	480	471	479
ВМСт.3сп + X14Г14Н3Т	373	328	318	278	253	263
20K + X14Г14Н3Т	386	341	331	291	266	276
16ГС + X14Г14Н3Т	390	345	335	295	270	280
09Г2С + X14Г14Н3Т	396	351	341	301	276	286

Оптовые цены (в руб.) 1 т сортовой круглой и квадратной сталей [126, 127]

Марка стали	ГОСТ или ТУ	Линейный размер сечения, мм						
		10	12—14	16—30	32—50	52—100	105—200	210—250
ВМСт.3кп	ГОСТ 535—58	106	102	100	97	94	94	94
ВМСт.3сп; ВМСт.5сп		113	109	107	104	100	100	100
20; 25; 30; 40; 45	ГОСТ 1050—60	122	117	113	112	110	104	106
30Х; 35Х	ГОСТ 10702—63	137	132	128	127	—	—	—
18ХГ	ГОСТ 4543—61	140	135	131	130	128	122	124
35ХГ2		145	140	136	135	133	126	128
40ХФА		167	162	157	156	154	148	150
30ХМА		184	180	175	172	170	162	164
Х5	ГОСТ 5949—61	214	208	202	199	197	186	—
12Х1МФ	ГОСТ 10500—63	225	219	213	210	208	197	—
1Х13; 2Х13; 3Х13	ГОСТ 5949—61	270	264	258	255	253	242	—
Х5М	ГОСТ 10500—63	285	249	272	268	266	254	—
0Х13	ГОСТ 5949—61	290	284	278	275	273	262	—
Х5ВФ	ГОСТ 10500—63	303	297	290	286	284	272	—
0Х17Т	ГОСТ 5949—61	362	355	347	344	342	329	—
Х28		412	405	397	394	392	379	—
Х25Т		439	432	424	421	419	406	—
1Х17Н2		450	443	435	432	430	417	—
25Х2МФА	ЧМТУ 5664—56	522	498	475	464	461	—	—
Х14Г14Н3Т	ГОСТ 5949—61	541	534	526	523	521	508	—
1Х21Н5Т		608	601	593	590	588	575	—
0Х21Н5Т		611	604	596	593	591	578	—
Х15Н9Ю		690	683	673	672	670	657	—
Х18Н10Т		724	717	709	706	704	699	—
0Х18Н10Т		784	777	769	766	764	751	—
0Х21Н6М2Т		960	953	945	942	940	927	—
Х23Н18		1170	1150	1120	1110	1100	1050	—
0Х17Н16М3Т		1640	1630	1610	1600	1590	1550	—
Х17Н13М2Т; Х17Н13М3Т		1800	1790	1770	1760	1750	1710	1720
0Х23Н28М3Д3Т		1910	1900	1880	1870	1860	1820	—

Таблица 8.5

Оптовые цены (в руб.) 1 т стальных поковок 2-й группы сложности [130]

Марка стали	ГОСТ	Масса поковок, кг						
		2—10	11—25	26—70	71—180	181—320	321—700	701—1000
20; 25; 30; 35; 40	1050—60	350	310	275	255	240	225	215
20X; 30X; 35X; 40X	4543—61	395	355	325	300	280	265	250
50ХФА	2052—53	465	415	380	345	325	310	295
X5M	5950—63	655	600	555	515	480	455	430
1X17H2	5949—61	975	890	820	770	730	690	655
X18H10T		1240	1155	1090	1045	1005	970	935

Примечание. Ко 2-й группе сложности относятся поковки с незначительно меняющимся сечением и поковки постоянного сечения с отверстиями (фланцы, валы гладкие и одноступенчатые диаметром свыше 75 до 200 мм, длиной свыше 1 до 8 м и др.).

Оптовые цены на поковки 1-й группы сложности (более простые по конфигурации и технологии изготовления) ниже оптовых цен на поковки 2-й группы сложности для сталей указанных марок на 5—11%, а поковки 3-й группы сложности (более сложных по конфигурации и технологии изготовления) выше оптовых цен на поковки 2-й группы сложности — на 6—14%.

Таблица 8.6

Оптовые цены (в руб.) 1 т горячих стальных штамповок 2-й группы сложности [130]

Марка стали	ГОСТ или ТУ	Масса штамповок, кг						
		4—10	11—25	26—63	64—160	161—400	>400	
20; 25; 30; 35; 40	ГОСТ 1050—60	295	240	230	215	210	205	
20X; 30X; 35X; 40X	ГОСТ 4543—61	285	255	240	230	225	220	
50ХФА	ГОСТ 2052—53	425	380	355	330	325	320	
X5M	ЧМТУ/ЦНИИЧМ 522—61	595	550	525	500	495	490	
1X17H2	ГОСТ 5949—61	825	755	705	665	655	650	
X18H10T		1075	1005	955	915	905	900	

Примечание. Ко 2-й группе сложности относятся штамповки, представляющие собой тела вращения, геометрическая ось которых лежит в плоскости разреза штампов с отверстиями; призматические горячие штамповки с ребрами и прошитыми отверстиями и выступами; горячие штамповки, получаемые на горизонтально-ковочных машинах в три и менее перехода.

Таблица 8.7

Оптовые цены (в руб.) 1 т чугунных и стальных отливок 4-й группы сложности [130]

Металлы и сплавы	Марка	ГОСТ	Масса отливок, кг							
			3-10	11-20	21-50	51-200	201-500	501-1000	1001-3000	>3000
Серый чугун	СЧ-00; СЧ 12-28; СЧ 15-32; СЧ 18-36	1412-54	315	295	280	260	240	230	220	200
Ферросилиды	С15; С17	2233-43	365	340	325	305	270	265	250	235
Сталь углеродистая качественная	15Л; 20Л; 25Л; 30Л; 35Л; 40Л; 45Л	977-65	405	380	355	330	315	305	290	270
Сталь легированная	20ХМЛ; 35ХМЛ	—	490	470	440	410	390	370	365	355
Сталь высоколегированная	10Х13Л; 20Х13Л		620	590	550	515	490	470	450	440
	15Х25ТЛ; 75Х28Л; 185Х34Л		725	690	650	610	580	555	545	535
	10Х18Н9ТЛ		1330	1245	1195	1145	1115	1085	1055	1035
	10Х18Н12М3ТЛ		2340	2155	2040	1935	1905	1835	1795	1770

Примечание. К 4-й группе сложности относятся отливки закрытой и частично открытой коробчатой и цилиндрической формы ответственного назначения. Наружные поверхности — криволинейные и прямолинейные, с незначительным количеством пересекающихся поверхностей, имеющие выступающие части и углубления сложной конфигурации. Внутренние полости — сложной конфигурации, с небольшим количеством (3—4) пересекающихся криволинейных и прямолинейных поверхностей. Поверхности механически обрабатываются с трех—пяти сторон, в них растачивается до 7 отверстий, связанных между собой или с установочной базой жесткими размерами и допусками. Отдельные поверхности являются труппиными.

Оптовые цены на отливки 3-й группы сложности (более простые по геометрическим формам и технологии изготовления) из сталей марок 10Х18Н9ТЛ и 10Х18Н12М3ТЛ ниже указанных оптовых цен на отливки 4-й группы сложности на 9—12%, из металлов и сплавов остальных марок — на 14—20%.

Таблица 8.8

Оптовые цены (в руб.) 1 т стальных электросварных труб [128]

Размеры труб $D_n \times s$, мм	Марка стали					
	20	Х18Н10Т	0Х18Н10Т	00Х18Н10Т	0Х23Н23М3Д3Т	
						ГОСТ 11068-64
	ГОСТ 10704-63					
12×1,4	—	307	326	334	800	
12×1,8	—	244	258	266	634	
18×2	248	—	—	—	—	
20×2	—	185	196	202	480	
22×2	228	—	—	—	—	

Продолжение табл. 8.8

Размеры труб $D_n \times s$, мм	Марка стали					
	20	Х18Н10Т	0Х18Н10Т	00Х18Н10Т	0Х23Н23М3Д3Т	
						ГОСТ 11068-64
	ГОСТ 10704-63					
25×2	218	171	181	186	445	
32×2	203	159	169	173	414	
32×2,5	—	150	159	164	390	
32×3	182	149	158	162	387	
38×2	193	151	160	165	392	
38×2,5	—	146	155	159	380	

Продолжение табл. 8.8

Размеры труб $D_H \times s$, мм	Марка стали				
	20	X18H10T	0X18H10T	00X18H10T	0X23H28M3Д3Т
	ГОСТ 10704-63	ГОСТ 11068-64			
38×3	175	145	154	158	378
42×2,5	181	142	151	155	369
45×3	170	141	149	154	367
57×2,5	—	138	146	151	359
57×3	169	134	142	146	348
60×4	—	130	138	142	338
89×3	169	129	137	140	337
89×3,5	—	119	126	139	310
89×4	170	125	132	136	324
102×3,5	—	126	133	137	328
102×4	—	124	132	135	322
108×3	169	—	—	—	—
108×4	168	—	—	—	—
133×3,5	168	—	—	—	—
133×4	166	—	—	—	—

Таблица 8.9

Оптовые цены (в руб.) 1 т цельнотянутых труб из углеродистой и легированной сталей [128]

Размеры труб $D_H \times s$, мм	Марка стали							
	20		10; 20	10	10Г2	30ХМА	Х5М	12Х1МФ
	ГОСТ 8731-66	МРТУ 14-4-21-67	ГОСТ 8733-66	ГОСТ 1060-53	ГОСТы 8731-66 и 8733-66	ГОСТ 550-58	МРТУ 14-4-21-67	
10×2	—	—	1165	1570	—	—	—	—
12×3	—	—	695	—	—	938	—	—

Продолжение табл. 8.9

Размеры труб $D_H \times s$, мм	Марка стали							
	20	10; 20	10	10Г2	30ХМА	Х5М	12Х1МФ	
	ГОСТ 8731-66	МРТУ 14-4-21-67	ГОСТ 8733-66	ГОСТ 1060-53	ГОСТы 8731-66 и 8733-66	ГОСТ 550-58	МРТУ 14-4-21-67	
14×1,6	—	—	1030	—	1070	—	—	1980
14×2	—	—	850	—	—	—	—	—
14×3	—	—	605	—	630	—	—	1170
16×1,6	—	—	—	1250	960	—	—	—
16×2	—	—	755	—	785	—	—	—
16×2,5	—	—	621	—	—	—	—	—
16×3	—	—	532	—	553	—	—	—
18×1,6	—	—	840	—	875	—	—	1620
18×2	—	—	690	—	—	—	—	—
18×2,5	—	—	566	—	—	—	—	1095
18×3	—	—	495	—	515	—	—	955
18×4,5	—	—	—	—	—	—	—	774
20×2	—	—	634	856	659	—	—	1225
20×2,5	—	—	525	708	545	—	—	—
20×4,5	—	—	374	—	—	—	505	—
22×2	—	—	595	790	—	—	—	—
22×2,5	—	—	494	—	—	—	—	—
25×1,6	—	—	666	—	694	—	—	1290
25×2	—	—	548	720	570	—	—	1060
25×2,5	—	—	458	—	—	—	—	885
25×3	—	—	632	400	540	415	—	770 985
25×3,5	—	—	—	362	—	—	—	— 920
25×5	—	—	—	329	—	—	—	404 635
25×7	—	—	—	313	—	—	—	— 425

Продолжение табл. 8.9

Размеры труб $D_H \times s, \text{мм}$	Марка стали							
	20		10; 20	10	10Г2	30ХМА	Х5М	12Х1МФ
	ГОСТ 8731-66	МРТУ 14-4-21-67	ГОСТ 8733-66	ГОСТ 1060-53	ГОСТы 8731-66 и 8733-66	ГОСТ 550-58	МРТУ 14-4-21-67	
28×2,5	—	—	—	—	—	—	—	982
28×3	238	—	—	—	—	—	—	—
28×3,5	233	—	—	—	—	—	—	865
32×2	—	696	474	—	494	—	915	1085
32×2,5	238	—	415	560	—	—	804	—
32×3,5	233	517	319	—	332	—	615	807
32×5	—	—	287	—	—	—	555	—
35×5	276	—	—	—	—	—	—	—
35×9	—	—	261	—	—	352	—	—
38×2	—	646	434	585	450	—	835	1005
38×2,5	—	—	376	—	392	—	—	—
38×3	237	—	—	—	—	—	456	—
38×3,5	—	—	295	—	306	—	570	735
38×4	—	468	277	—	288	—	—	730
45×2,5	—	509	351	—	367	—	676	792
45×3,5	—	—	276	—	—	—	532	700
45×4	—	435	263	—	274	—	—	678
45×6,5	—	—	240	—	—	—	—	—
45×10	—	—	230	—	—	310	—	—
48×4	—	—	259	—	270	—	500	—
48×5	—	—	244	—	254	—	—	—
48×6	—	—	235	—	—	—	454	—
50×2,5	—	—	325	—	—	—	—	—
50×9	—	—	224	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 8.9

Размеры труб $D_H \times s, \text{мм}$	Марка стали							
	20		10; 20	10	10Г2	30ХМА	Х5М	12Х1МФ
	ГОСТ 8731-66	МРТУ 14-4-21-67	ГОСТ 8733-66	ГОСТ 1060-53	ГОСТы 8731-66 и 8733-66	ГОСТ 550-58	МРТУ 14-4-21-67	
50×12	—	—	216	—	—	292	—	—
57×2,5	—	—	312	422	324	—	—	—
57×3	—	—	270	—	—	—	520	—
57×3,5	—	413	256	—	266	—	—	645
57×5	206	—	—	—	—	—	398	605
57×6	199	374	—	—	207	—	—	584
57×7	193	—	—	—	—	—	—	—
57×12	176]	—	—	—	—	238	—	—
60×4	217	—	—	—	226	—	419	—
60×6	197	—	—	—	204	—	380	—
60×7	191	—	—	—	—	—	370	—
68×12	173	—	—	—	—	—	—	—
68×14	170	—	—	—	—	230	—	—
68×16	167	—	—	—	—	226	—	—
70×3,5	223	—	—	—	232	—	—	—
76×3,5	218	—	236	—	228	—	420	—
76×4	209	572	—	—	217	—	—	580
76×5	197	—	—	—	—	—	380	564
76×6	190	351	—	—	197	—	—	548
76×7	185	349	—	—	193	—	—	545
76×8	181	—	—	—	—	—	350	—
76×9	178	—	—	—	—	—	—	—
76×10	—	—	—	—	—	—	—	443
89×3,5	210	—	—	—	218	—	405	—

Продолжение табл. 8.9

Продолжение табл. 8.9

Размеры труб $D_H \times S, \text{ мм}$	Марка стали							
	20		10; 20	10	10Г2	30ХМА	Х5М	12Х1МФ
	ГОСТ 8731-66	МРТУ 14-4-21-67	ГОСТ 8733-66	ГОСТ 1060-53	ГОСТы 8731-66 и 8733-66	ГОСТ 550-58	МРТУ 14-4-21-67	
89×4	201	—	—	—	210	—	—	
89×4,5	196	349	—	—	204	378	545	
89×5	192	—	—	—	200	—	—	
89×6	185	343	—	—	192	358	535	
89×7	180	341	—	—	187	348	530	
89×8	176	335	—	—	183	—	522	
89×10	171	—	—	—	—	—	—	
89×11	169	—	—	—	—	—	—	
95×4	199	—	—	—	208	—	—	
102×16	147	—	—	—	—	—	—	
102×20	145	—	—	—	—	196	—	
102×22	144	—	—	—	—	194	—	
108×4	181	—	—	—	188	350	—	
108×4,5	177	—	—	—	—	342	526	
108×5	173	337	—	—	—	—	525	
108×6	166	—	—	—	172	321	524	
108×7	162	334	—	—	168	—	522	
108×8	159	—	—	—	—	307	514	
108×9	156	311	—	—	162	—	485	
114×7	161	238	—	—	—	310	424	
114×8	157	—	—	—	—	304	—	
114×10	153	—	—	—	158	—	—	
114×12	149	222	—	—	—	298	395	
114×14	147	—	—	—	—	—	—	

Размеры труб $D_H \times S, \text{ мм}$	Марка стали							
	20		10; 20	10	10Г2	30ХМА	Х5М	12Х1МФ
	ГОСТ 8731-66	МРТУ 14-4-21-67	ГОСТ 8733-66	ГОСТ 1060-53	ГОСТы 8731-66 и 8733-66	ГОСТ 550-58	МРТУ 14-4-21-67	
114×22	143	—	—	—	—	—	193	
127×14	146	—	—	—	—	—	—	
127×18	144	—	—	—	—	—	—	
127×28	140	—	—	—	—	189	—	
133×4	174	—	—	—	—	—	336	
133×5	167	247	—	—	—	174	— 440	
133×6	161	239	—	—	—	167	311 425	
133×7	157	234	—	—	—	163	303 416	
133×8	155	—	—	—	—	161	— —	
133×9	152	226	—	—	—	—	294 403	
133×10	150	224	—	—	—	156	— 399	
133×16	—	—	—	—	—	—	— 384	
140×7	156	—	—	—	—	—	300	
140×20	142	—	—	—	—	—	—	
140×25	140	—	—	—	—	189	— —	
146×11	147	—	—	—	—	153	—	
159×4,5	160	—	—	—	—	166	309	
159×6	155	232	—	—	—	161	— 414	
159×7	153	229	—	—	—	159	295 408	
159×8	151	226	—	—	—	157	292 403	
159×10	148	221	—	—	—	—	286 393	
159×11	146	219	—	—	—	152	— 390	
159×18	141	—	—	—	—	—	—	
159×28	138	—	—	—	—	186	—	

Продолжение табл. 8.9

Продолжение табл. 8.9

Размеры труб $D_n \times s, \text{ мм}$	Марка стали							
	20		10; 20	10	10Г2	30ХМА	Х5М	12Х1МФ
	ГОСТ 8731-66	МРТУ 14-4-21-67	ГОСТ 8733-66	ГОСТ 1060-53	ГОСТы 8731-66 и 8733-66	ГОСТ 550-58	МРТУ 14-4-21-67	
159×36	136				184			
168×9	—						395	
168×10	147	220					392	
168×11	—						390	
168×12	145	217			172		280	386
168×16	142	213					274	380
180×28	137							
180×40	135				182			
194×5	156				162			
194×6	153				159		295	
194×7	151	226						402
194×8	149	223			155		288	398
194×9	147	220					287	393
194×10	146	219			152			390
194×12	144	216			150		278	385
194×14	142	214					274	382
194×16	141	212						378
194×18	140	210					271	374
194×20	139							
194×36	135				182			
219×6	152				158			
219×7	149				155		288	
219×8	148	221			154			394
219×9	146	219			152		282	390

Размеры труб $D_n \times s, \text{ мм}$	Марка стали								
	20		10; 20	10	10Г2	30ХМА	Х5М	12Х1МФ	
	ГОСТ 8731-66	МРТУ 14-4-21-67	ГОСТ 8733-66	ГОСТ 1060-53	ГОСТы 8731-66 и 8733-66	ГОСТ 550-58	МРТУ 14-4-21-67		
219×10	145	218					151	280	388
219×11	144	216							385
219×14	145	213					151	280	380
219×16	144	211						278	376
219×18	143	209							372
219×20	142	208						274	370
219×26	—								367
219×32	139								
219×48	137							185	
245×7	142						147		
245×10	139						145		
245×14	—								365
245×18	136	203							362
245×20	135	203							362
245×25	135								
245×45	134							181	
273×7	142						148		
273×8	141								272
273×9	140	208					146	270	370
273×11	138	206					144		366
273×12	138	205					144	267	365
273×14	137	205							365
273×16	136	204					142	262	364
273×18	136	203						263	362

Продолжение табл. 8.9

Продолжение табл. 8.9

Размеры труб D _H × s, мм	Марка стали							
	20		10; 20	10	10Г2	30ХМА	Х5М	12Х1МФ
	ГОСТ 8731-66	МРТУ 14.4-21-67	ГОСТ 8733-66	ГОСТ 1060-53	ГОСТы 8731-66 и 8733-66	ГОСТ 560-58	МРТУ 14.4-21-67	
273×20	135	203						362
273×24	134	202						360
273×25	134	202					259	360
273×32	—							358
273×38	134							
299×50	134				181			
325×9	139			145		268		
325×10	139			145				
325×12	138			144				
325×14	137	205		143		264	365	
325×16	136	204		142			364	
325×18	135	203				260	362	
325×20	135	203					362	
325×22	134	202				259	360	
325×28	134	201					358	
325×38	—						358	
377×9								
377×10	139			145				
377×11	138					266		
377×12	138			144		266		

Размеры труб D _H × s, мм	Марка стали							
	20		10; 20	10	10Г2	30ХМА	Х5М	12Х1МФ
	ГОСТ 8731-66	МРТУ 14.4-21-67	ГОСТ 8733-66	ГОСТ 1060-53	ГОСТы 8731-66 и 8733-66	ГОСТ 560-58	МРТУ 14.4-21-67	
377×14	137	436						755
377×16	136	432			142		262	748
377×18	135	428						741
377×20	135	425			141		260	735
377×25	134	421					259	730
377×32	134	418					259	725
377×45	—							720
426×9	139				145			
426×10	139				145		268	
426×11	138				144		266	
426×12	138						266	
426×14	137	434						750
426×16	136	430			142			745
426×17	136	429						741
426×18	135	427					260	738
426×20	135	423						732
426×22	134	421					258	730
426×28								
426×35	134	417					259	722

Оптовые цены (в руб.) 1 т цельнотянутых труб из высоколегированных нержавеющих и кислотостойких сталей (по ГОСТам 9940—62 и 9941—62) [128]

Размер труб $D_n \times s$, мм	Марка стали										
	0X17T	X25T	X28	0X21H5T	1X21H5T	X18H10T	0X18H10T	X17H13M2T	0X23H18	0X17H16M3T	
12×1,2	—	—	—	—	—	3910	—	—	—	—	
14×1,4	1845		1965	2620	2660	2980	—	4545	4765	5800	
14×2,5	1422		1519	2022	2050	2300	2460	3500	3680	4495	
16×1	—		—	3100	3135	3520	3780	5350	—	—	
16×1,4				—	—	2620	2800	3990			
16×2				1978	2000	2250	2405	3420			
18×1,4	1508		1592	2121	2150	2415	—	3700	3860	4700	
18×2	—		1885	1905	—	2140	2290	3260	—	—	
18×2,5	1265		1345	1798	1820	2040	2180	3100	3260	3980	
18×3	—		—	1745	1765	1985	2120	3020	—	—	
18×3,5				—	—	1955	—	2970			
20×2				1810	1830	2060	2200	3140			
25×1,4	1300		1385	1850	1870	2100	—	3190	3360	4100	
25×2	—		—	1685	1705	1915	2045	2910	—	—	
25×2,5	1128		1200	1600	1620	1820	—	2760	2910	3550	
25×3	1098		1273	—	1555	1575	1770	1895	2690	—	—
25×3,5	—		—		1740	—	1690	—	2640		
25×4,5					—		—		—		
28×2	—		—		1620	1638	1840	1970	2800		
32×1,8	1128	—	1200	1600	1620	1820	—	2770	2910	3550	
32×2,5	1062		1130	1510	1530	1715		2605	2740	3340	
32×3	1030	1198	—	1460	1475	1660	1780	2520	—	—	
32×3,5	—	—		—	—	1652	—	2504			
38×2	1050	—	1114	1485	1505	1690	1810	2565	2700	3300	
38×3	1040		1210	1108	1480	1495	1680	1795	2550	2685	3280
38×3,5	—		—	—	1390	1405	1580	1690	2400	—	—

Продолжение табл. 8.10

Размер труб $D_H \times s, \text{ мм}$	Марка стали										
	0Х17Т	Х25Т	Х28	0Х21Н5Т	1Х21Н5Т	Х18Н10Т	0Х18Н10Т	Х17Н13М2Т	0Х23Н18	0Х17Н16М3Т	
38×6	—	—	—	—	—	1565	—	—	—	—	
45×2	1022		1080	1450	1470	1650		2510	2640	3220	
45×2,5	979		1040	1390	1408	1580		2400	2515	3080	
45×3	—		—	1370	1388	1560		1670	2375	—	—
45×3,5	958	1110	1020	1360	1375	1545	—	2350	2475	3010	
45×6	—	—	—	—	—	1520	—	—	—	2960	
48×4				1320	1340	1510		1618		2298	
48×5				1285	1310	1470		1575		2238	
48×7,5				—	—	1455		—		—	
50×2,5				1360	1375	1545		1655		2345	
56×2				1010	1070	1415		1440		1620	—	2360	2590	3160
56×3	916	1065	976	1305	1320	1480	1590	2280	2370	2885	
56×3,5	912	1060	—	1285	1310	1470	1575	2240	—	—	
56×4	905	—	965	1282	1300	1460	—	2220	2335	2480	
56×7	—	—	—	—	—	1420	—	—	—	2770	
60×4				1268	1282	1440	1545	2185			
60×6				1238	1250	1405	1505	2118			
70×3				912	1058	1290	1310	1470		1575	2240
76×4				875	1015	1240	1255	1410		1510	2140
76×5				845	900	1197	1217	1362		—	2075	2180	2660
76×6	—	—	1180	1192	1340	1435	2040	—	—		
76×9			—	—	1193	—	—			2322	
89×4,5	847	984	902	1200	1215	1365	1462	2080	2185	2660	
89×5	—	—	—	1180	1192	1340	1435	2040	—	—	
89×6	825		878	1170	1185	1330	—	2020	2115	2595	
89×7	—		1145	1158	1300	1295	1980	—	—		
89×8	—		—	—	1245	—	1892	—	—		

Размер труб $D_n \times s, \text{мм}$	Марка стали									
	0Х17Т	Х25Т	Х28	0Х21Н5Т	1Х21Н5Т	Х18Н10Т	0Х18Н10Т	Х17Н13М2Т	0Х23Н18	0Х17Н16М3Т
89×11	—	—	—	—	—	1168	—	—	—	2272
95×4	855	986	—	1215	1230	1380	1475	2100	—	—
108×5	—	—	—	1165	1178	1325	1420	2018	—	—
108×6	810	938	—	1150	1161	1305	1395	1980	—	—
108×7	795	—	—	1130	1145	1285	1375	1950	2058	2505
108×12	—	—	—	944	965	1086	1160	1650	—	—
110×3,5	860	—	915	1220	1235	1388	—	2115	2220	2700
110×4,5	830	—	885	1180	1192	1340	—	2040	2143	2618
114×8	—	—	—	—	—	1156	—	1752	—	—
114×10	—	—	—	—	—	1112	1190	1700	—	—
114×14	—	—	—	—	—	1065	—	—	—	2078
127×14	—	—	—	—	—	1050	—	—	—	2046
127×18	—	—	—	—	—	1022	—	—	—	1992
133×5	740	—	826	—	—	1252	1340	1900	2003	2460
133×6	712	868	796	—	—	1207	290	1820	1920	2355
133×8	674	—	745	—	—	1141	1220	1740	1828	2230
140×20	—	—	—	—	—	987	—	—	—	1920
146×11	—	—	—	—	—	1041	1118	1585	—	—
159×6	670	818	750	—	—	1137	1218	1720	—	—
159×7	653	—	730	—	—	1107	—	1682	—	—
159×8	—	—	—	—	—	1084	1160	1650	—	—
159×9	628	—	704	—	—	1067	—	1622	—	—
159×18	—	—	—	—	—	979	—	—	—	1895
168×12	—	—	—	—	—	992	1060	1510	—	—
168×14	—	—	—	—	—	979	—	1488	—	—
180×28	—	—	—	—	—	911	—	—	—	1772
194×9	602	—	674	—	—	1002	—	1550	—	—

Продолжение табл. 8.10

Размер труб $D_H \times s$, мм	Марка стали									
	0X17T	X25T	X28	0X21H5T	1X21H5T	X18H10T	0X18H10T	X17H13M2T	0X23H18	0X17H16M3T
194×11	576		645			979		1485		
194×14						976		1485		—
194×16	—		—			970		1475		
194×20						945		—		1840
219×10	583		650			986		1500		
219×12	575		645			976		1480		
219×16						965		1470		
219×18						954		1450		
245×25						1495				2918
273×11						1572				
273×12						1563				—
273×14						1543				
273×18						1523				2318
273×20						1514				2300
325×12						1560				
325×14						1543				—

Таблица 8.11

Оптовые цены 1 т электросварных труб большого диаметра из стали марки ВМСт.Зсп
(по ГОСТу 10704—83, [128])

Размер труб $D_H \times s$, мм	Цена, руб.	Размер труб $D_H \times s$, мм	Цена, руб.	Размер труб $D_H \times s$, мм	Цена, руб.
426×4; 426×5	178	630×10	167	1020×9	168
426×7; 426×9	165	720×9	162	1020×10	170
480×4; 480×5	178	720×11	163	1020×14	167
480×7; 480×9	165	820×7	165	1120×9; 1120×14	167
530×5	178	820×9	161	1120×11	168
530×7; 530×9	165	820×12	159	1220×10	167
630×6	169	920×8; 920×10	174	1220×12; 1220×14	165
630×9	165	920×9; 920×12	172	1420×10; 1420×12	163

Таблица 8.12

Оптовые цены 1 т биметаллических труб
(сталь 20+медь МЗр) (по ГОСТу 10192-62, [128])

Размер труб $D_n \times s$, мм	Цена, руб.	Размер труб $D_n \times s$, мм	Цена, руб.
14×2	4167	32×3	1932
14×2,5	3369	32×3,5	1710
18×2	3645	38×2,5	2059
18×3	2517	38×3,5	1573
25×2,5	2550	45×2,5	1931
25×3	2200	55×2,5	1760

Таблица 8.13

Оптовые цены (в руб.) 1 т труб из стали 20,
футерованных винипластом или полиэтиленом,
(по ГОСТу 10762-64, [128])

Размер труб $D_n \times s$, мм	Трубы, футерованные	
	винипластом	полиэтиленом
45×2	906	803
57×3	730	636
88,5×4	546	479
114×4	490	428
140×4,5	464	402
165×4,5	437	375

Таблица 8.14

Оптовые цены 1 т листового проката из цветных металлов и сплавов [129]

Марка металла или сплава	ГОСТ или ТУ	Вид проката и его состояние	Размеры листов, мм			Цена, руб.	
			Толщина	Ширина	Длина		
Алюминий и его сплавы							
А95	ТУ ЛО 1-66	Листы мягкие	1	500-800	2000	1300	
			2			1240	
			3			1220	
А5; АД0; АД1; АД	ГОСТы 7869-56; 12592-67; АМТУ 347-61; ГОСТ 1946-50	Листы отожженные	1-1,5	1500-2000	≤4000	950	
			2-2,5			920	
			3 и выше			940	
		Листы и плиты горячекатаные мягкие	4-10	1000-1500		850	
			>10 (слябы)			840	
			Листы отожженные			1-1,5	1500-2000	1190
2-2,5	1160						
3 и выше	1180						
АД00						1190	
						2-2,5	1160
						3 и выше	1180
АМц	ГОСТы 12592-67; 1946-50	Листы и плиты отожженные	1-1,5	1500-2000	4000-7200	1190	
			2-2,5			1120	
			3 и выше			1130	
АМцС	СТУ 14-6-66; ГОСТ 1946-50	Листы и плиты горячекатаные	10 и выше	—	—	860	

Продолжение табл. 8.14

Марка металла или сплава	ГОСТ или ТУ	Вид проката и его состояние	Размеры листов, мм			Цена, руб.
			Толщина	Ширина	Длина	
АМг2	АМТУ 347-61; ГОСТ 1946-50	Листы отожженные	1-1,5	1000-1500	≤4000	1070
			2-2,5			1030
			3 и выше			1050
АМг5		Листы и плиты отожженные	8 и выше	1500-2000	4000-7000	1370
Медь * и латунь						
М2; М3	ГОСТ 495-50	Листы холоднокатаные мягкие (отожженные)	1	1000	2000	1230
			2-2,5			1180
			3			1190
			4-5			1200
			6			1210
			8-10			1220
		Листы горячекатаные	12-14	600-1200	3100-6000	1040
			16-24			1020
Л62	ГОСТ 931-52	Листы холоднокатаные мягкие	1	1000	2000	1080
			2-2,5			1040
			3			1045
			4-5			1050
			6			1055
			8-10			1060
		Листы горячекатаные	12-22		900	
ЛЖМц 59-1-1	МПТУ 4420-54	Доски	25-40	1050-2000	600-2500	895
			50-150			865
Никель						
НП2*	ТУ ЦМО 1124-56	Листы горячекатаные	5-6	700-800	800-2400	4750
			8-10	530-800		4720
	ТУ ЦМО 57-65	Плиты горячекатаные	15	560	1250	4400
			18	400	400	4360
			77	750	1000	4150
ТУ ЦМО 29-64						

Марка металла или сплава	ГОСТ или ТУ	Вид проката и его состояние	Размеры листов, мм			Цена, руб.	
			Толщина	Ширина	Длина		
НП2	ТУ ЦМО 55-64	Плиты горячекатаные	21	400	Кратная 410	4320	
			26	550	Кратная 560	4260	
Свинец							
С1	ГОСТ 9559-60	Листы (нормальной точности изготовления)	1	500	750-1000	810	
			2-4	500; 600	1000-1200	780	
			5-10			760	
С2			1	500	750-1000	805	
			2-4	500; 600	1000-1200	775	
			5-10			755	
С3			1	500	750-1000	800	
			2-4	500; 600	1000-1200	770	
			5-10			750	
Титановые сплавы							
ВТ1-0; ОТ4-0	АМТУ 475-67	Листы	1	800	2000	7300	
			2-10			6300	
			12-35	1000	1000-1500	2500	
			40-60			5000	
ОТ4			1-2	800	2000	8100	
			2,5-10	1000	1500; 2000	7200	
			12-35			2500	5600
			40-60			1000-1500	5000
ОТ4 (повышен- ного каче- ства)			1-2	800	2000	11 840	
			2,5-10	1000	2000	11 360	
			11 и более			4000	8820
ОТ4-1			1-2	800	2000	8100	
	2,5-10	1000	1500; 2000	7200			
	12-35			2500	6100		
40-60	1000-1500			5400			

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
1	20	Стали X17 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 1X17H2 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), X25T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), X28 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), X18H10T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$). (У всех сталей точечная коррозия)
Растворы	—	Сплав хастеллой С
≤ 40	95	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1; титановые сплавы BT3-1, BT5, BT5-1, OT4, OT4-0, OT4-1
Раствор, насыщенный на холоде	60—100	Полиизобутилен ПСГ
	60	Винипласт
5—75	≤ 60	Сплав хастеллой С
Иод J_2		
Любая	≤ 200	Фторопласт-4
100 (сухой газ)	≤ 250	Алюминий A95, A85, A8, A7, A6, A5, A0
	20	Стали 0X13, 1X13, 2X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X14Г14Н3Т, X18H10Т, X17H13M2Т
Пары	20	Алюминий A0 (незначительная коррозия)
0,1 (водный раствор)		Алюминий A0, AL2
Настойка		Полиэтилен, полипропилен
Растворы	70	Пластикат полихлорвиниловый (о. с.)
Иодоформ CHJ_3		
Любая	$t_{кип}$	Алюминий A0, A; Фторопласт-4
	≤ 60	Фторопласт-3

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
Пары	60	Стали 1X13, 2X13, X17, X17H13M2Т, X17H13M3Т
	50	Сталь X18H10Т
Кристаллический	20	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17Т, 1X17H2, X25Т, X28, X18H10Т, X17H13M2Т, 0X23H28M3Д3Т
Калий азотнокислый KNO_3		
Любая	$20 - t_{кип}$	Стали 0X13, 1X13, 2X13, X17, 0X17Т, 1X17H2, X25Т, X28, 0X21H5Т, 0X21H6M2Т, X18H10Т, X17H13M2Т
	≤ 200	Фторопласт-4
	≤ 100	Фторопласт-3
Расплавленный	550	Стали 0X21H5Т, X18H10Т, X17H13M2Т, 0X23H28M3Д3Т
Разбавленные растворы	≤ 60	Полиизобутилен ПСГ
	≤ 40	Винипласт
Растворы, насыщенные на холоде	—	Медь M1, M2
	≤ 60	Полиизобутилен ПСГ, винипласт
Растворы	100	Алюминий A0, A
Калий бромистый KBr		
Любая	≤ 200	Фторопласт-4
	≤ 100	Фторопласт-3
1—10	≤ 50	Стали X18H10Т, X17H13M2Т, 0X23H28M3Д3Т (у всех сталей — точечная коррозия)

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
5	20	Алюминий А0, АЛ2
Разбавленный раствор	≤ 60	Полиизобутилен ПСГ, винипласт
Раствор, насыщенный на холоде	≤ 100	Полиизобутилен ПСГ
	≤ 60	Винипласт
Калий двууглекислый KHCO_3		
Любая	20	Стали 0X13, 1X13, 2X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, 0X21H5T, X18H10T, X17H13M2T
5	60	
10	85	Сталь ВМСт.3сп
Калий двухромовокислый $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$		
Любая	≤ 200	Фторопласт-4
10	20	Алюминий А0, АЛ2
15		Свинец С1, С2, С3, С4
20	90	Стали 0X13, 1X13, 2X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, 0X21H5T, X18H10T, X17H13M2T
25	$20 - t_{\text{кип}}$	Стали X18H10T, 0X18H12Б, X17H13M2T, X17H13M3T
	20	Стали 1X13, 2X13, X17
≤ 40	≤ 40	Винипласт
Калий йодистый КJ		
Любая	≤ 200	Фторопласт-4
	≤ 60	Винипласт
Водный раствор	20	Стали X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3Д3Т (у всех сталей — точечная коррозия)

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
Растворы $\text{KJ} + \text{J}_2$	$20 - t_{\text{кип}}$	Стали X18H10T, 0X18H12Б, X17H13M2T
Расплавленный	800	Никель НП2 ($\Pi = 1,2 \text{ мм/год}$)
Калий кислый виннокислый $\text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$		
Любая	≤ 200	Фторопласт-4
Концентрированный раствор	$t_{\text{кип}}$	Алюминий А0 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
5-насыщенный раствор	≤ 100	Никель Н1
Насыщенный раствор	$t_{\text{кип}}$	Стали X18H10T ($\Pi = 1+3 \text{ мм/год}$), X17H13M2T ($\Pi = 1+3 \text{ мм/год}$)
	100	Стали X18H10T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), X17H13M2T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
Калий кислый сернистокислый KHSO_3		
2	≤ 90	Стали X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3Д3Т
Калий кислый сернокислый KHSO_4		
2-15	20	Стали X18H10T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), X17H13M2T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
Калий марганцевокислый KMnO_4		
Любая (растворы)	20	Стали 0X13, 1X13, 2X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X14Г14Н3Т, 0X21H5T, X18H10T, X17H13M2T
	$t_{\text{кип}}$	Стали X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3Д3Т, X17 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 0X17T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 1X17H2 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), X25T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), X28 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)

Продолжение

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ C$	
≤ 6	≤ 40	Винипласт
	60	Винипласт (о. с.)
6	≤ 200	Фторопласт-4
	60	Полиэтилен
	20	Полиизобутилен ПСГ
18	40	Винипласт
Плотность 130 г/л	≤ 90	Резина техническая (прокладочный материал)
Калий сернокислый K_2SO_4		
Любая	$20 - t_{кип}$	Стали 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3Д3T
10	20	Стали 1X13, 2X13
	$t_{кип}$	Стали 1X13 ($\Pi=1,04$ мм/год), 2X13 ($\Pi=1,18$ мм/год)
13,8	85	Сталь ВМСт.3сп
Насыщенный раствор	≤ 60	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
Расплав- ленный	—	Свинец С4
Калий углекислый (поташ) K_2CO_3		
Любая	≤ 200	Фторопласт-4
	≤ 80	Текстолит
	≤ 60	Винипласт, полиэтилен
13,8	85	Сталь ВМСт.3сп
Растворы	$20 - t_{кип}$	Стали 0X18H12B, X18H10T, X17H13M2T, X17H13M3T

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ C$	
Растворы	$t_{кип}$	Стали 1X13 ($\Pi < 1,0$ мм/год), 2X13 ($\Pi < 1,0$ мм/год)
	20	Стали 1X13, 2X13, X17; алюминий А0 (не- значительная коррозия)
Насыщенный раствор	120	Сталь ВМСт.3сп; чу- гун СЧШ-1 ($\Pi=1,88$ мм/год), СЧШ-2 ($\Pi=1,7$ мм/год)
50	$t_{кип}$	Стали 0X13, 1X13, 2X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, 0X21H5T, X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3Д3T (у всех сталей — точечная кор- розия)
Влажный	20	Алюминий А0 (незна- чительная коррозия)
Расплав- ленный	900	Сталь X17H13M2T ($\Pi=1 \div 3$ мм/год и то- чечная коррозия)
Калий хлористый КСl		
Любая	≤ 200	Фторопласт-4
	≤ 80	Текстолит
0,5—1,5; 4—8	8	Свинец С1, С2, С3, С4
35	20	Стали X17H13M2T, X18H10T ($\Pi < 1,0$ мм/год) (точеч- ная коррозия)
	50	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3Д3T (у ста- лей всех марок — точеч- ная коррозия)
	$t_{кип}$	Стали X18H10T ($\Pi < 1,0$ мм/год), X17H13M2T ($\Pi < 1,0$ мм/год) — (то- чечная коррозия)

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_0, \%$	$t_0, ^\circ\text{C}$	
36	111	Титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1
Насыщенный раствор	20— $t_{кип}$	Стали X17H13M2T, X17H13M3T
	100— $t_{кип}$	Сплав МФ-15 ($\Pi < 1,0$ мм/год)
	$t_{кип}$	Стали X18H10T ($\Pi < 1,0$ мм/год), 0X18H12B ($\Pi < 1,0$ мм/год)
	100	Никель НР2
	20	Стали 1X13 ($\Pi < 1,0$ мм/год), 2X13 ($\Pi < 1,0$ мм/год), X17 ($\Pi < 1,0$ мм/год), X18H10T
Растворы, насыщенные на холоде	≤ 100	Полиизобутилен ПСГ
	≤ 60	Винипласт
Разбавленные растворы	60	Полиизобутилен ПСГ
	40	Винипласт
Растворы	—	Латуни всех марок (незначительная коррозия)
Расплавляемый	800	Сталь X18H10T ($\Pi = 1,4$ мм/год); никель НР2 ($\Pi = 0,8$ мм/год)
	850	Сталь X18H10T ($\Pi = 2,4$ мм/год)
Калий цианистый KCN		
Любая	20	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3D3T
≤ 10	≤ 40	Винипласт

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_0, \%$	$t_0, ^\circ\text{C}$	
Разбавленные растворы	60	Полиизобутилен ПСГ
	20	Алюминий А0, А (незначительная коррозия)
Концентрированные растворы	20	Алюминий А0, А
Растворы, насыщенные на холоде	≤ 80	Полиизобутилен ПСГ
	≤ 60	Винипласт
Калий щавелевокислый $K_2C_2O_4$		
Любая	20— $t_{кип}$	Стали X17, 0X17T, 1X17H2, X18H10T, X17H13M2T
	20	Стали 0X13, 1X13, X25T, X28
Кальций азотнокислый $Ca(NO_3)_2$		
Любая	20	Винипласт
0,8	20— $t_{кип}$	Сталь X18H10T
	≤ 200	Фторопласт-4
10	20	Алюминий А0, А
Насыщенный	100	Стали X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X18H10T
Расплавляемый	148	Стали X17H13M2T, 0X23H28M3D3T
Кальций кислый сернистокислый $CaHSO_4$		
Водный раствор	$t_{кип}$	Стали X17, 0X17T, 1X17H2, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3D3T
—	200 ($\rho = 2,0$ Мг/м ³)	Сталь X17H13M2T

Продолжение

Про должение

Среда		Рекомендуемые материалы
C_c , %	t_c , °C	
Кальций сернокислый $CaSO_4$		
Любая	≤ 100	Свинец С4
Насыщенный раствор	20	Стали 0X17T, 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T; алюминий А0
Кальций хлористый $CaCl_2$		
Любая	≤ 200	Фторопласт-4
	≤ 70	Пластикат полихлорвиниловый
3 (содержащий 1% HCl)	80	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1; титановые сплавы OT4, OT4-0, OT4-1
3 (содержащий 1% HCl и 1% H_2S)	70	
5	20	Стали 0X13, 1X13, 2X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, 0X21H5T, X18H10T, X17H13M2T (у всех сталей — точечная коррозия)
5 (азрированный)	35—100	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
10—20	≤ 50	Стали 0X21H5T, X18H10T, X17H13M2T, X17 ($\Pi < 1,0$ мм/год), 0X17T ($\Pi < 1,0$ мм/год), 1X17H2 ($\Pi < 1,0$ мм/год), X25T ($\Pi < 1,0$ мм/год), X28 ($\Pi < 1,0$ мм/год) — (у всех сталей — точечная коррозия)
25	20	Алюминий А0, А
40 и 55 (с взвешенными частицами NaCl и $CaSO_4$)	112	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
55 (насыщенный NaCl и $CaSO_4$)		

Среда		Рекомендуемые материалы
C_c , %	t_c , °C	
42 (насыщенный на холоде и горяче-насыщенный)	$t_{кип}$	Стали X17H13M2T, 1X13 ($\Pi < 1,0$ мм/год), 2X13 ($\Pi < 1,0$ мм/год), X17 ($\Pi < 1,0$ мм/год), 0X17T ($\Pi < 1,0$ мм/год), 1X17H2 ($\Pi < 1,0$ мм/год), X28 ($\Pi < 1,0$ мм/год), X18H10T ($\Pi < 1,0$ мм/год)
42 (насыщенный на холоде)	100	Сталь X18H10T ($\Pi < 1,0$ мм/год)
	20	Сталь X18H10T, 1X13 ($\Pi < 1,0$ мм/год), 2X13 ($\Pi < 1,0$ мм/год), X17 ($\Pi < 1,0$ мм/год), 0X17T ($\Pi < 1,0$ мм/год), 1X17H2 ($\Pi < 1,0$ мм/год), X28 ($\Pi < 1,0$ мм/год)
Разбавленный раствор	60	Полиизобутилен ПСГ
	40	Винипласт, полиэтилен
Растворы	20	Сталь X18H10T ($\Pi < 1,0$ мм/год)
Насыщенный раствор	$t_{кип}$	Сплав хастеллой С
	100	Стали X17H13M2T ($\Pi < 1,0$ мм/год), X17H13M3T ($\Pi < 1,0$ мм/год)
	20	Стали X18H10T, X17H13M2T (точечная коррозия)
Раствор, насыщенный на холоде	60	Полиизобутилен ПСГ, винипласт
Сухой кристаллический	20	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X18H10T, X17H13M2T (у всех сталей — точечная коррозия)
Карболовая кислота (фенол) C_6H_5OH		
<100	$20 - t_{кип}$	Стали X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3Д3T
	20	Стали 0X13, 1X13

Продолжение

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
Концентрированная неочищенная	$20 - t_{кип}$	Стали 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T
1—75	≤ 70	Алюминий А0; алюминиевые сплавы АД00, АД0
≤ 90	≤ 45	Винипласт (о. с.), полиизобутилен ПСГ (о. с.)
Разбавленный и концентрированный раствор	≤ 60	Фторопласт-4
Техническая	≤ 100	Сплав МФ-15 (антихлор)
Кремнефтористоводородная кислота H_4SiF_6		
Любая	$20 - t_{кип}$	Фоолит Т (графолит)
	≤ 65	Резины для гуммирования марок 829, 1976-М, 2566, 4476, 4849 и эбониты марок 1751, 1726
	200	Стали X17H13M2T, X18H10T ($\text{П} < 1,0 \text{ мм/год}$)
100 (пары)	≤ 100	Стали X17H13M2T, X18H10T ($\text{П} < 1,0 \text{ мм/год}$), 0X18H12B ($\text{П} < 1,0 \text{ мм/год}$), 0X18H10T ($\text{П} < 1,0 \text{ мм/год}$)
≤ 32	≤ 60	Винипласт, полиизобутилен ПСГ, полихлорвиниловый пластикат
≤ 25	≤ 70	Сталь 0X23H28M3ДЗТ
≤ 20 (водные растворы)	От -30 до +100	Резина кислотоустойчивая марок 6290 ЛРТИ, 4999, 5145
≤ 10	≤ 40	Керамика кислотоупорная

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
≤ 1	≤ 40	Сталь 0X21H6M2T
6,5	40	Латуни всех марок (незначительная коррозия)
Разбавленные растворы	$20 - t_{кип}$	Картон асбестовый (прокладочный материал)
Концентрированные растворы	$20 - t_{кип}$	Картон асбестовый (прокладочный материал)
	≤ 100	Паронит УВ-10 (прокладочный материал)
Лимонная кислота $\text{CH}_2 \cdot \text{C} \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{C}(\text{OH}) \cdot (\text{CO}_2\text{H}) \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{CO}_2\text{H}$		
Любая	$< t_{кип}$	Графит, пропитанный фенолформальдегидной смолой
	≤ 100	Полиизобутилен ПСГ, фторопласт-4
Разбавленный раствор	50	Текстолит
≤ 15	≤ 60	Сталь 0X21H5T
1—50	$20 - t_{кип}$	Сталь X17H13M2T
	20	Стали X18H10T, 10X18H9ТЛ, 0X18H12Б
1—10	20	Алюминий А0, А
≤ 10	40	Винипласт
1	$20 - t_{кип}$	Сталь X18H10T
	20	Стали 0X13, 1X13, 2X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28
	$t_{кип}$	Стали X25T ($\text{П} < 1,0 \text{ мм/год}$), X28 ($\text{П} < 1,0 \text{ мм/год}$)
5—10	20	Стали X25T, X28, X14Г14НЗТ, X17 ($\text{П} < 1,0 \text{ мм/год}$), 0X17T ($\text{П} < 1,0 \text{ мм/год}$), 1X17H2 ($\text{П} < 1,0 \text{ мм/год}$)
	$t_{кип}$	Стали X25T ($\text{П} < 1,0 \text{ мм/год}$), X28 ($\text{П} < 1,0 \text{ мм/год}$)

Продолжение

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
5	20— $t_{кип}$	Стали 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T
	60—70	Алюминий А0, А
	140 ($p=0,3 \text{ Мн/м}^2$)	Стали 0X21H5T, 0X21H6M2T, X17H13M2T, X18H10T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 0X18H12Б ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
10	20	Стали 0X21H5T, 0X21H6M2T, алюминий АЛ2
	40	Стали 0X21H5T, 0X21H6M2T
	60	Полипропилен, винилпласт (о. с.)
	85— $t_{кип}$	Стали 0X21H5T, 0X21H6M2T, X17H13M2T: ферросилид С15
10 (аэрированная)	35—100	Сталь 0X23H28M3Д3Т, титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1
15	60	Стали 1X21H5T, 0X21H5T, 0X21H6M2T
15 (аэрированная)	50, $t_{кип}$	Титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1
25—50	20	Ферросилид С15
	$t_{кип}$	Ферросилид С15 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
25	20—85	Стали 0X21H5T, 0X21H6M2T
	85	Сталь X18H10T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
	20	Сталь X18H10T, 1X13 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), X17 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 0X17T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 1X17H2 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), X28 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
25	$t_{кип}$	Сталь X17H13M2T
25, 50 (аэрированная)	35—100	Сталь 0X23H28M3Д3Т, титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1
50	20	Стали X25T, X28, 1X21H5T, 0X21H5T, X18H10T, 1X13 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 2X13 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), X17 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 0X17T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 1X17H2 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), X28 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
	20—40	Стали 0X21H5T, 0X21H6M2T
50 (аэрированная)	$t_{кип}$	Сталь 0X21H6M2T, X17H13M2T
		Титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1
95	20—140	Стали X18H10T, 0X18H12Б
Раствор, насыщенный на холоде	60	Винилпласт
Раствор, насыщенный при 100°С	$t_{кип}$	Стали X18H10T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 0X18H12Б ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
Магний сернокислый $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$		
Любая	≤ 200	Фторопласт-4
$\leq 0,024$	20	Сталь 30 ($\Pi=0,384 \text{ мм/год}$)
	200	Сталь 30 ($\Pi=0,258 \text{ мм/год}$)
10	≤ 60	Стали 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T
	20	Стали X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28; алюминий А0, АЛ2

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
10	$t_{кип}$	Алюминий А0 ($\Pi < 1,6 \text{ мм/год}$)
50 (содержащий O_2)	60—70	Алюминий А0, А
Растворы	20— $t_{кип}$	Свинец С4
	≤ 100	Никель НП2
Разбавленные растворы	60	Полиизобутилен ПСГ
	40	Винипласт
Насыщенный раствор	≤ 60	Титан ВТ1-0 ($\Pi < 0,13 \text{ мм/год}$)
	20	Стали 0Х21Н6М2Т, X18Н10Т, X17Н13М2Т
Раствор, насыщенный на холоде	≤ 100	Полиизобутилен ПСГ
	≤ 60	Винипласт
Магний углекислый $MgCO_3$		
Насыщенный раствор	20	Стали 1Х13, 2Х13, X17, X18Н10Т, 0Х18Н12Б, X17Н13М2Т, X17Н13М3Т; алюминий А0, А
Влажная масса		Стали 0Х13, 1Х13, X17, 0Х17Т, 1Х17Н2, X25Т, X28, X18Н10Т, X17Н13М2Т
Магний хлористый $MgCl_2$		
Любая	≤ 200	Фторопласт-4
	≤ 60	Пластикат полихлорвиниловый
$\leq 0,19$	200	Латунь Л62
2,5	20	Стали 0Х13, 1Х13, X17, 0Х17Т, 1Х17Н2, X25Т, X28, X18Н10Т, X17Н13М2Т, 0Х23Н28М3Д3Т (у всех сталей — точечная коррозия)

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
5; 20 (аэрированный)	35— $t_{кип}$	Титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1
10—30	20	Стали X17, 0Х17Т, 1Х17Н2, X18Н10Т, 0Х18Н12Б, X17Н13М2Т, X17Н13М3Т (у всех сталей — точечная коррозия)
15		Стали X28, 0Х21Н5Т (точечная коррозия)
19	$t_{кип}$	Сталь X18Н10Т (точечная коррозия)
42	135	Стали 2Х13, X15Н9Ю, X18Н10Т; титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1; титановый сплав ОТ4
42 (аэрированный)	$t_{кип}$	Титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1
60	20	Алюминий А0, А
Разбавленные растворы	≤ 60	Полиизобутилен ПСГ
	≤ 40	Винипласт
Насыщенный раствор	85	Стали 2Х13, X18Н10Т, 0Х18Н12Б
Раствор, насыщенный на холоде	60	Винипласт
Марганец сернокислый $MnSO_4$		
Любая	20	Стали 0Х13, 1Х13, X17, 0Х17Т, 1Х17Н2, X25Т, X28, 0Х21Н5Т, 0Х21Н6М2Т, X18Н10Т, X17Н13М2Т, 0Х23Н28М3Д3Т
Марганец хлористый $MnCl_2$		
10	20	Стали X17, 0Х17Т, 1Х17Н2, X25Т, X28, X18Н10Т, X17Н13М2Т (у всех сталей — точечная коррозия)

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
10	$t_{\text{кип}}$	Стали X18H10T, X17H13M2T (точечная коррозия)
50	$20 - t_{\text{кип}}$	
5; 20	100	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
5; 20 (аэрированный)	35—100	Сталь 0X23H28M3ДЗТ; титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
Масляная кислота C_3H_7COOH		
Любая	$20 - t_{\text{кип}}$	Стали X25T, X28, 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T
	$< t_{\text{кип}}$	Графит, пропитанный фенолформальдегидной смолой
	20	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2
$\leq 0,5$	50	Алюминий А0 ($\Pi=0,4$ мм/год)
	20	Алюминий А0 ($\Pi=0,15$ мм/год)
Алюминий А0; алюминиевый сплав АД0		
Медь МЗ		
Винипласт, полиизобутилен ПСГ (о. с.)		
50—70	50	Алюминий А0 ($\Pi=0,18$ мм/год)
	20	Алюминий А0 ($\Pi=0,15$ мм/год)
Концентрированный раствор	60	Алюминий А0
		Алюминий А0 ($\Pi=0,2$ мм/год)
Техническая (плотность 0,964)	$20 - t_{\text{кип}}$	Ферросилид С15, сплав МФ-15 (антхлор)
	$20 - 150$	Стали X18H10T, 0X18H12B
	150	Стали 1X13, 2X13, X17, X18H10T
	$t_{\text{кип}}$	Стали X17H13M2T, X17H13M3T

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
Насыщенный раствор	20—130	Стали X18H10T, 0X18H12B
Малеиновая кислота $CH_2(COOH)_2$		
Любая	≤ 60	Фторопласт-4
1	20	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, 1X21H5T, 0X21H5T, X18H10T, X17H13M2T
5—50	100	Стали X18H10T, X17H13M2T
20—45	90	Антегмиты АТМ-1, АТМ-1Г, АТМ-10
35	40	Винипласт
50	100	Стали 1X13; 2X13, X17
Раствор, насыщенный на холоде	≤ 40	Винипласт
	80	Полиизобутилен ПСГ
Медь азотнокислая $Cu(NO_3)_2$		
Любая	$20 - t_{\text{кип}}$	Стали 0X13, 1X13, 2X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, 0X21H5T, X18H10T, X17H13M2T
Медь мышьяковистая Cu_3As_2		
Любая	20	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3ДЗТ
Медь сернокислая $CuSO_4 \cdot 5H_2O$		
Любая	$20 - t_{\text{кип}}$	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T
	≤ 200	Фторопласт-4
	20	Антегмиты АТМ-1, АТМ-1Г, АТМ-10

Продолжение

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
Разбавленные растворы	≤ 60	Полиизобутилен ПСГ
	≤ 40	Винипласт
Растворы, насыщенные на холоде	≤ 100	Полиизобутилен ПСГ
	≤ 60	Винипласт
Медь углекислая CuCO_3		
Насыщенная в 5%-ном растворе NH_3	20	Стали 1X13, 2X13, X17, 0X17T, 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, 0X18H12B, X17H13M2T, X17H13M3T
Медь уксуснокислая $\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$		
Насыщенный раствор	$20-t_{\text{кип}}$	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3Д3Т
Медь хлорная CuCl_2		
Любая	$20-t_{\text{кип}}$	Антегмиты АТМ-1, АТМ-1Г, АТМ-10
5	20	Сталь X18H10T
Медь цианистая $\text{Cu}(\text{CN})_2$		
Насыщенный раствор	$20-t_{\text{кип}}$	Стали X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X18H10T, X17H13M2T
	20	Стали 0X13, 1X13
Молочная кислота $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$		
Любая	$20-t_{\text{кип}}$	Базальт плавный, диабаз плавный, замазка кислотоупорная (о. с.), керамика кислотоупорная, стекло известковонатриевое, стекло кварцевое, фаолит, фарфор кислотоупорный

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
Любая	$< t_{\text{кип}}$	Графит, пропитанный фенолформальдегидной смолой
	≤ 45	Текстолит
	≤ 60	Фторопласт-4
0,5	20	Алюминий А0, А, АЛ2
1	20—50	Стали X17, 0X17T, X25T, X28, 1X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T, 1X13 ($\Pi < 1,0$ мм/год), 2X13 ($\Pi < 1,0$ мм/год), 1X17H2 ($\Pi < 1,0$ мм/год)
	20	Медь М3
	65	Медь М3 ($\Pi = 0,3$ мм/год)
	$t_{\text{кип}}$	Сталь X18H10T ($\Pi = 0,1+3,0$ мм/год)
1,5—концентрированная	20	Стали X18H10T, X17H13M3T, X17H13M2T
1,5—10	$t_{\text{кип}}$	Стали X17H13M2T, X17H13M3T
1,5	$20-t_{\text{кип}}$	Стали 1X13 ($\Pi < 1,0$ мм/год), X17 ($\Pi < 1,0$ мм/год)
≤ 5		Сталь X17H13M2T
5	20—50	Сталь 0X21H6M2T
		Стали 1X21H5T, 0X21H5T
	50—80	Сталь X18H10T
$t_{\text{кип}}$		Сталь X17H13M2T

Продолжение

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
≤ 10	≤ 40	Винипласт, полиизо- бутилен ПСГ
10	20—75	Стали X18H10T, X17H13M2T
	≤ 60	Полиизобутилен ПСГ, винипласт (о. с.)
	75, $t_{кип}$	Стали 1X21H5T, 0X21H5T, 0X21H6M2T
	90, 100	Стали 0X21H6M2T, X17H13M2T
10— концентри- рованная	$t_{кип}$	Стали X18H10T ($P < 1,0$ мм/год), X17H13M2T ($P < 1,0$ мм/год)
		Ферросилид С15, сплав МФ-15 (антихлор)
10—90	≤ 90	Древесина бакелизи- рованная
10, 25, 50, 85	$t_{кип}$	Сталь 0X23H28M3ДЗТ ($P < 0,3$ мм/год), титан BT1-00
10, 25, 50, 85 (азиро- ванная)	35—100	Сталь 0X23H28M3ДЗТ, титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
≤ 20	20— $t_{кип}$	Резина кислотощело- честойкая марок 6290 ЛРТИ, 4999, 5145 (про- кладочный материал)
	20	Картон асбестовый (прокладочный материал)
20	≤ 60	Полипропилен
25	≤ 90	Стали 0X21H6M2T, X17H13M2T
	≤ 50	Стали 1X21H5T, 0X21H5T, X18H10T
50	≤ 100	Стали 0X21H6M2T, X17H13M2T
	≤ 90	Сталь X18H10T

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
50	≤ 50	Стали 1X21H5T, 0X21H5T
75	≤ 50	Стали X18H10T, X17H13M2T
80	20	Алюминий А0, АЛ2
90	≤ 100	Полиизобутилен ПСГ
Концентри- рованная кислота	20	Стали 1X21H5T, 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T
	50	Сталь X17H13M2T ($P < 1,0$ мм/год), X18H10T ($P < 1,0$ мм/год)
	$t_{кип}$	Сталь X17H13M2T ($P < 1,0$ мм/год)
Разбавленные и концентри- рованные растворы	90	Цемент серный
Мочевина (карбамид) $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$		
Любая (водные растворы)	20— $t_{кип}$	Керамика кислото- упорная, эмаль кислото- упорная
	20	Стали 1X13, 2X13, X17, X18H10T, 10X18H9TЛ
Расплав, содержащий аммиак	—	Ферросилид С15; сплав МФ-15 (антихлор)
≤ 10	≤ 60	Полиизобутилен ПСГ
	≤ 40	Винипласт
33	≤ 60	Винипласт, полиизо- бутилен ПСГ
55—65	≤ 110	Стали 0X21H5T, 1X21H5T
	20	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X14Г14НЗТ, X18H10T, X17H13M2T

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
70	90	Паронит (прокладочный материал)
80	135	Сталь X18H10T
90	110—120	Стали 0X21H5T, X18H10T
Расплавленная (55—65)%, содержащая (0,35—0,89)% NH_3	110	Стали 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T
	190	Стали 0X21H5T ($\Pi=0,44$ мм/год), 0X21H6M2T ($\Pi=0,44$ мм/год), X18H10T ($\Pi=0,44$ мм/год)
Мочевина в стехиометрическом плаве	200	Сталь X17H13M2T ($\Pi=0,65$ мм/год)
	165	Сталь X17H13M2T ($\Pi=0,215$ мм/год)
6 (с избытком H_2O)	165	Сталь X17H13M2T ($\Pi=0,286$ мм/год)
6 (с избытком NH_3)	165 ($p=30$ Мн/м ²)	Сталь X17H13M2T ($\Pi=0,182$ мм/год)
12 (с избытком H_2O)	165	Сталь X17H13M2T ($\Pi=0,506$ мм/год)
12 (с избытком NH_3)	165 ($p=60$ Мн/м ²)	Сталь X17H13M2T ($\Pi=0,154$ мм/год)
	185 ($p=30$ Мн/м ²)	Сталь X17H13M2T ($\Pi=0,199$ мм/год)
	185 ($p=60$ Мн/м ²)	Сталь X17H13M2T ($\Pi=0,214$ мм/год)
	200 ($p=60$ Мн/м ²)	Сталь X17H13M2T ($\Pi=0,421$ мм/год)
12 (+20% H_2O)	($p=20+60$ Мн/м ²)	Сталь X17H13M2T ($\Pi=0,806$ мм/год)

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
25 (с избытком NH_3)	165	Сталь X17H13M2T ($\Pi=0,19$ мм/год)
Расплавленная	190—240	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
	240	Сталь X17H13M2T ($\Pi=0,823$ мм/год)
Расплавленная, содержащая CS_2	190—240	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
	190	Сталь X17H13M2T ($\Pi=0,443$ мм/год)
Расплавленная, содержащая H_2O	70—80	Стали X18H10T, 0X21H5T.
Муравьиная кислота HCOOH		
Любая	$20-t_{кип}$	Антегмиты АТМ-1, АТМ-1Г, АТМ-10; керамика кислотоупорная, стекло известково-натриевое, фарфор кислотоупорный, эмаль кислотоупорная, фторопласт-4
	$<t_{кип}$	Графит, пропитанный фенолформальдегидной смолой
	≤ 170	Замаски арзамит 1 и 2
	≤ 90	Цемент серный
	≤ 60	Эбониты марок 1751, 1726
	≤ 50	Сталь X28H4
0,5	70	Ферросилиды C15, C17
		Стали 0X13, 1X13, 2X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, 0X21H5T, X18H10T, X17H13M2T

Продолжение

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
1	$20 - t_{\text{кип}}$	Стали 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T
	≤ 40	Стали X25T ($\Pi < 1,0$ мм/год), X28 ($\Pi < 1,0$ мм/год)
	20	Стали X17 ($\Pi < 1,0$ мм/год), 0X17T ($\Pi < 1,0$ мм/год)
2	≤ 100	Стали X18H10T, X17H13M2T
3, 10, 20	20	Алюминий А0, А; алюминиевый сплав АД00
≤ 5	≤ 80	Асбест, паронит (прокладочный материал)
5—60	200	Титановый сплав BT3-1
5	140	Стали 0X21H6M2T, X17H13M2T ($\Pi < 1,0$ мм/год)
	100	Сталь X17H13M2T, 0X21H5T
	20	Сталь X18H10T
	≤ 10	$t_{\text{уп}}$	Стали 1X21H5T, 0X21H5T
Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1		
10	≤ 100	Стали 0X23H28M3ДЗТ, X17H13M2T ($\Pi < 1,0$ мм/год), сплавы хастеллой В, хастеллой С
		Стали 0X21H6M2T, X17H13M2T
	≤ 70	Сплав хастеллой С
	40	Сталь X18H10T ($\Pi < 1,0$ мм/год)
	20	Сталь 0X21H5T; алюминий АЛ2

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
10—89	$20 - t_{\text{кип}}$	Сплавы хастеллой В, хастеллой С
10—50	≤ 70	Ферросилид С15; сплав МФ-15 (антихлор)
	20	Стали 1X13, 2X13, X17
10, 25, 50, 90	$t_{\text{кип}}$	Сталь 0X23H28M3ДЗТ, титан BT1-00, BT1-0
10, 25, 50, 90 (аэрированная)	35—100	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
10 (аэрированная)	70	Сплав хастеллой Д ($\Pi = 0,46$ мм/год)
15	≤ 70	Сталь 1X17H2
≤ 20	≤ 60	Резина кислотоустойчивая марки 6290 ЛРТИ, 4999, 5145
20	$t_{\text{кип}}$	Сплав хастеллой С
25	≤ 100	Стали 0X21H6M2T, X17H13M2T
	≤ 70	Сталь X18H10T
	20	Стали X17, 0X17T, 0X21H5T, X18H10T ($\Pi < 1,0$ мм/год)
30	$t_{\text{кип}}$	Сталь 0X21H6M2T ($\Pi < 1,0$ мм/год); сплавы хастеллой В, хастеллой С ($\Pi < 1,0$ мм/год)
40	65	Сплавы хастеллой С, хастеллой В ($\Pi < 1,0$ мм/год)
	$t_{\text{кип}}$	Сплавы хастеллой В, хастеллой С ($\Pi < 1,0$ мм/год)
≤ 40	$20 - t_{\text{кип}}$	Фаолит
40	20	Алюминий А0

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
45	≤ 40	Стали X17, 0X17T
≤ 50	≤ 60	Полиизобутилен ПСГ, винипласт (о. с.)
	≤ 40	Винипласт
50	≤ 100	Стали 0X21H6M2T, X17H13M2T
	20	Сталь 0X21H5T
	140	Сталь X17H13M2T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
	$t_{кип}$	Сплав хастеллой С
50 (аэрированная и неаэрированная)	95	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1; титановые сплавы OT4, OT4-0, OT4-1
50—100	20	Стали X18H10T, 10X18H9TЛ, 0X18H10T, 0X18H12B
	$t_{кип}$	Стали X17H13M2T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), X17H13M3T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
60	65	Сплавы хастеллой С, хастеллой В ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
	$t_{кип}$	Сплавы хастеллой В, хастеллой С ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
≤ 75	50	Алюминий А95 ($\Pi < 0,68 \text{ мм/год}$), А85 ($\Pi < 0,68 \text{ мм/год}$), А8 ($\Pi < 0,68 \text{ мм/год}$)
80	≤ 70	Стали 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T
	$t_{кип}$	Сплав хастеллой С; сталь X17H13M2T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
	≤ 40	Сталь 1X17H2

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
≤ 85	95	Титановые сплавы BT3-1, BT5, BT5-1, BT6, OT4
85	≤ 70	Стали X17, 0X17T, сплав хастеллой С
86	≤ 120	Стали X17H13M2T, X17H13M3T
	≤ 110	Сталь 0X21H6M2T
	—	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1; титановый сплав BT5
86 (аэрированная)	70	Сплав хастеллой Д ($\Pi = 0,46 \text{ мм/год}$)
89	$65 - t_{кип}$	Сплавы хастеллой В, хастеллой С
≤ 90	≤ 100	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
90	≤ 60	Стали 0X21H6M2T, X17H13M2T
	≤ 40	Стали X17 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 0X17T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 1X17H2 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), X25T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), X28 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), X18H10T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
	20	Стали X18H10T, 0X13 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 1X13 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
89—99	40—80	Резина техническая (прокладочный материал)
≤ 98	20	Алюминий А95 ($\Pi < 0,13 \text{ мм/год}$), А85 ($\Pi < 0,13 \text{ мм/год}$), А8 ($\Pi < 0,13 \text{ мм/год}$)
98	$t_{кип}$	
100	$t_{кип}$	
		Сталь X18H10T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
100	≤ 60	Стали X17, 0X17T, 1X17H2, X28, 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T, 1X13 ($\Pi < 1,0$ мм/год), 2X13 ($\Pi < 1,0$ мм/год), X25T ($\Pi < 1,0$ мм/год), X28 ($\Pi < 1,0$ мм/год)
	20	Алюминий АЛ2; полиизобутилен ПСГ, винипласт
Концентрированные растворы	≤ 100	Ферросилид С15, сплав МФ-15 (антихлор)
	20	Алюминий А8 ($\Pi < 0,16$ мм/год)
Натрий азотнокислый NaNO_3		
Любая	$20 - t_{\text{кип}}$	Стали 0X13, 1X13, 2X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X14Г14НЗТ, 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3ДЗТ
	≤ 200	Фторопласт-4
	≤ 60	Винипласт, пласткат полихлорвиниловый
Разбавленные растворы	> 100	Алюминий А0, А
Расплавленный	$t_{\text{кип}}$	Стали X18H10T, 0X18H12Б, X17H13M2T, X17H13M3T
	360	Стали 1X13, 2X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X28, X18H10T
	310	Никель НП2
Расплавленный с примесью NaNO_3 , KNO_2 , KNO_3	—	Алюминий А0

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
Натрий борнокислый $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$		
Насыщенный раствор	20	Стали X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3ДЗТ
	5	Алюминий А0, А, АЛ2
Расплавленный	—	Стали 1X13, 2X13, X17, X18H10T, X17H13M2T, X17H13M3T
Натрий бромистый NaBr		
10	20	Стали X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3ДЗТ (у всех сталей — точечная коррозия)
20	80	
Натрий двууглекислый NaHCO_3		
Любая	≤ 60	Стали 1X13, 2X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X28, 0X21H5T, X18H10T
Натрий кислый сернистокислый NaHSO_3		
Любая	≤ 200	Фторопласт-4
5—40	20	Стали 0X21H6M2T, X17H13M2T, X18H10T ($\Pi < 1,0$ мм/год)
0,2	100	Алюминий А0, А
10	20	Полиэтилен
50—насыщенный раствор	$20 - t_{\text{кип}}$	Сталь X18H10T
Разбавленный раствор	≤ 60	Полиизобутилен ПСГ
	≤ 40	Винипласт
Раствор, насыщенный на холоде	≤ 80	Полиизобутилен ПСГ
	≤ 60	Винипласт

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
Натрий кислый сернокислый NaHSO_4		
Любая	≤ 200	Фторопласт-4
	$20-t_{\text{кип}}$	Антегмиты АТМ-1, АТМ-1Г, АТМ-10
2	≤ 85	Стали 0X21H6M2T, X17H13M2T
	20	Сталь X18H10T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
5	≤ 85	Стали 0X21H6M2T, X17H13M2T
10	$20-t_{\text{кип}}$	Стали 1X13, 2X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X28, 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T
	≤ 50	Стали 0X21H5T, X17H13M2T
	20	Алюминий А0, А, АЛ2
Растворы	≤ 100	Стали X18H10T, 0X18H12B, X17H13M2T
Расплавленный	200	Сплав МФ-15 (антихлор)
Натрий кремнекислый Na_2SiO_3		
Растворы	20	Стали X18H10T, 0X18H12B
Насыщенный раствор	$20-t_{\text{кип}}$	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X18H10T, X17H13M2T
	≤ 60	Титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1
10 (нейтральный раствор)	20	Алюминий А0, А
Раствор (плотность 1,025)	85	Сталь X18H10T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
	20	Стали 1X13, 2X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X28, X18H10T

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
Натрий сернистый Na_2S		
Любая	≤ 200	Фторопласт-4
	$20-t_{\text{кип}}$	Антегмиты АТМ-1, АТМ-1Г, АТМ-10
0,24, содержащая 1% S	50	Алюминий А0 ($\Pi = 0,27 \text{ мм/год}$)
	20	Алюминий А0
2-15	≤ 30	Резина техническая (прокладочный материал)
6,5	$20-t_{\text{кип}}$	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T
10	20	Стали 0X17, 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T
25	$t_{\text{кип}}$	Стали 1X13, 2X13, X17, X17H13M2T, X17H13M3T
50		Стали X25T, X28, X14 Г14НЗТ, 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T, X17H13M3T
Разбавленный раствор	≤ 60	Полиизобутилен ПСГ
	40	Винипласт
Насыщенный раствор	20	Стали X17H13M2T, X18H10T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
Раствор, насыщенный на холоде	≤ 60	Полиизобутилен ПСГ, винипласт
Натрий сернистокислый Na_2SO_3		
Любая	≤ 60	Винипласт
	20	Медь М2, М3, М3р

Продолжение

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
5—50	$t_{кип}$	Стали X18H10T, X17H13M2T
10	20	Алюминий А0, А
25—50	≤ 200	Фторопласт-4
25 (водный раствор)	20	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X14Г14Н3Т
25— насыщенный раствор	$t_{кип}$	Стали X18H10T, 0X18H12Б
50		Стали X17H13M2T, X17H13M3T; ферросилид С15 ($\Pi < 1,0 \text{ мл/год}$)
Насыщенный раствор	20	Стали 1X13, 2X13, X17; титан ВТ1-0, ВТ1-1
Растворы		Свинец ССу1, ССу2; монель НМЖМц28-2,5-1,5
Натрий серноватистокислый $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$		
Любая	$20 - t_{кип}$	Антегмиты АТМ-1, АТМ-1Г, АТМ-10
16—25		Стали 0X17T, 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T
25 (водный раствор)	$t_{кип}$	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X18H10T, X17H13M2T
Натрий сернистый Na_2SO_4		
Любая	—	Фторопласт-4
	≤ 80	Полиизобутилен ПИСГ
	≤ 65	Пластикат полихлорвиниловый

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
Любая	20	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X18H10T, X17H13M2T
	$t_{кип}$	X25T, X28, X18H10T, X17H13M2T
0,23—2	8	Свинец С1, С2, С3
5	20	Стали 1X13, 2X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X28, 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T
10		Стали ВМСг.3сп, 10, 20, 20К, 0X17T, 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T; алюминий А0
10— концентри- рованный раствор	$20 - t_{кип}$	Алюминий А0, А
20	20	Алюминий АЛ2
25	$t_{кип}$	Стали 0X17T, 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T
30	100	Стали X17, 0X17T, 1X17H2, X28, 0X21H5T, X18H10T
Разбавленный раствор и сухая соль	≤ 50	Текстолит
Насыщенный раствор	$20 - t_{кип}$	Стали X18H10T, X17H13M2T, X17H13M3T
Раствор, насыщенный при $+15^\circ\text{C}$	$t_{кип}$	Стали 1X13, X17
37 (горяченасыщенный раствор)		Стали 0X17T, 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T
Раствор плотностью 1,13	100	Ферросилид С15

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
Натрий углекислый Na_2CO_3		
Любая	≤ 100	Фторопласт-4
	≤ 80	Текстолит
	≤ 65	Пластикат полихлорвиниловый
	≤ 60	Винипласт, полиэтилен
	$20 - t_{\text{кип}}$	Антегмиты АТМ-1, АТМ-1Г, АТМ-10
$\sim 0,05$	20	Алюминий А0 ($\Pi = 0,48 \text{ мм/год}$)
0,2	194—208	Медь МЗ (незначительная коррозия)
1—20	≤ 100	Никель Н1
5—насыщенный раствор	$t_{\text{кип}}$	Стали X18H10T, 0X18H12B, X17H13M2T, X17H13M3T
10,6	104	Чугуны СЧШ-1, СЧШ-2 ($\Pi = 0,13 \text{ мм/год}$)
	85	Сталь ВМСт.3сп
20	$t_{\text{кип}}$	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
~ 22	80	Сталь 1X13; ферросилид С15; сплав МФ-15
Насыщенный раствор	104	Сталь ВМСт 3сп
	60	Винипласт
20—40, содержащий 0,025% жидкого стекла	20	Алюминий А0
31 (горяченасыщенный раствор)	$t_{\text{кип}}$	Стали 1X13, 2X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X28, 0X21H5T, X18H10T
Расплавленный		Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X14Г14НЗТ, X18H10T, X17H13M2T
	900	Сталь 0X23H28M3ДЗТ; никель Н1

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
Натрий уксуснокислый CH_3COONa		
Горяченасыщенный раствор	$t_{\text{кип}}$	Стали 0X13, 1X13, 2X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T
Растворы	—	Сталь X18H10T; сплав МФ-15 (антихлор)
Натрий фосфорнокислый Na_3PO_4		
Любая	$20 - t_{\text{кип}}$	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3ДЗТ
Растворы	20	Сталь X18H10T
Насыщенный раствор		Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
Раствор, насыщенный при $+20^\circ\text{C}$	$20 - t_{\text{кип}}$	Стали 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T
0,5—3	30—40	Резина техническая (прокладочный материал)
8	18	Никель Н1; монель НМЖМц 28-2,5-1,5
Натрий фтористый NaF		
5	20	Стали X17 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 0X17 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 1X17H2 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), X28 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), X18H10T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
10	—	Алюминий А0, АЛ2 (местная коррозия)
Насыщенный раствор	85	Стали 2X13, X18H10T

Продолжение

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
Натрий хлористый NaCl		
Любая	$20-t_{кип}$	Антегмиты АТМ-1, АТМ-1Г, АТМ-10; графит, пропитанный фенолформальдегидной смолой; фторопласт-4
	≤ 60	Винипласт, пластикат полихлорвиниловый
3—10	$20-t_{кип}$	Стали 0X21H5T, X18H10T, X17 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 0X17T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 1X17H2 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), X28 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$) — у всех сталей — точечная коррозия
3 (аэрированный)	$35-t_{кип}$	Сталь 0X23H28M3ДЗТ; титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1
3 (насыщенный раствор)	20—100	Стали X18H10T, 0X18H12B
5—30; 34,5	20—25	Сталь X18H10T
5—8	≤ 40	Резина техническая (прокладочный материал)
10	20	Стали 1X13, 2X13, 3X13, X17, X18H10T, ферросилид С15
20	$t_{кип}$	Стали 0X21H5T, X18H10T, X17H13M2T (точечная коррозия)
	20	Стали 0X21H5T, X18H10T, X17H13M2T, X17 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 0X17T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 1X17H2 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), X25T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$) (у всех сталей — точечная коррозия)
20 (насыщенный Cl_2)	88—99	Титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1
	90—92	Сплав хастеллой С ($\Pi < 1,1 \text{ мм/год}$)

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
Разбавленные растворы	≤ 60	Полиизобутилен ПСГ
	40	Винипласт
Концентрированные растворы	20	Алюминий А0, А (незначительная коррозия)
Насыщенный раствор	$20-t_{кип}$	Сталь X17H13M2T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$) — точечная коррозия
	≤ 111	Титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1
	≤ 70	Сплав хастеллой С
	60	Винипласт
Насыщенный раствор (аэрированный)	$35-t_{кип}$	Сталь 0X23H28M3ДЗТ; титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1
Раствор, насыщенный на холоде	≤ 100	Полиизобутилен ПСГ
Насыщенный раствор, содержащий щелочь	20	Стали X18H10T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 0X18H12B ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
Натрий хлорноватистоокислый (гипохлорит натрия) NaClO		
Растворы	20	Стали X17H13M2T, X17H13M3T
0,5 (аэрированный)	35—100	Сталь 0X23H28M3ДЗТ, X17H13M2T ($\Pi < 0,4 \text{ мм/год}$); сплав хастеллой С; титан ВТ1-0, ВТ1-1
1,5—4, содержащий (12—15)% NaCl и 1% NaOH	95	Ферросилид С15 ($\Pi = 0,3 \text{ мм/год}$); сплав хастеллой С ($\Pi = 1,15 \text{ мм/год}$)
	65—93	Титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1

Продолжение

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
16, содержащий NaOH	15	Сплав хастеллой С
	5	Сплав хастеллой С; титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1
25	$< t_{кип}$	Графит, пропитанный фенолформальдегидной смолой
Натрий хлорнокислый $\text{NaClO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$		
10	$t_{кип}$	Стали X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3D3T
Натрий цианистый NaCN		
Любая	≤ 200	Фторопласт-4
Растворы	—	Сталь 1X13; Свинец С4
Растворы, содержащие 0,5% жидкого стекла	20	Алюминий А0 (незначительная коррозия)
Насыщенный раствор		Титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1
Натрий щавелевокислый $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$		
Любая	$20 - t_{кип}$	Стали X17, 0X17T, 1X17H2, X18H10T, X17H13M2T
	20	Стали 0X13, 1X13, X25T, X28
Никель азотнокислый $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$		
5—10	20	Стали 0X13, 1X13, 2X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, 0X21H5T, X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3D3T
Никель сернокислый NiSO_4		
Любая	$20 - t_{кип}$	Графит, пропитанный фенолформальдегидной смолой

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
Разбавленный раствор	≤ 40	Полиизобутилен ПСГ, винипласт
Горяченасыщенный раствор	$t_{кип}$	Стали X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, 0X21H5T, X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3D3T
Раствор, насыщенный на холоде	≤ 100	Полиизобутилен ПСГ
	≤ 60	Винипласт
Никель хлористый NiCl_2		
Водный раствор	20	Стали X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3D3T (у всех сталей — точечная коррозия)
5; 10	100	Титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1
5; 20 (азрированный)	35—100	Сталь 0X23H28M3D3T; титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1
Нитробензол $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$		
—	$t_{кип}$	Фторопласт-4
	280	Паронит ЭЧ (прокладочный материал)
	60	Полипропилен
	21	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3D3T
Озон O_3		
Любая	20	Полиэтилен, винипласт
100	40	Пластикат полихлорвиниловый
	20	Полиизобутилен ПСГ

Продолжение

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
При получении	—	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28
Окись углерода CO		
Любая	$p \leq 800$ $p \leq 32 \text{ Мн/м}^2$	Стали X18H10T, 10X18H9TЛ
	$p \leq 700$ $p \leq 1,6 \text{ Мн/м}^2$	Стали X17, X25T, X28
	$p \leq 600$ $p \leq 1,6 \text{ Мн/м}^2$	Стали 1X13, 2X13
	$p \leq 250$ $p \leq 0,6 \text{ Мн/м}^2$	Алюминиевые сплавы АД00, АД0, АД1, АД
	$p \leq 500$ $p \leq 0,3 \text{ Мн/м}^2$	Картон асбестовый кислотостойкий (прокладочный материал)
	$p \leq 375$ $p \leq 4,0 \text{ Мн/м}^2$	Паронит (прокладочный материал)
15	$p \leq 400$ $p \leq 32 \text{ Мн/м}^2$	Стали 20, 30ХМ, 20Х3МВФ
35	$p \leq 175-225$ $p \leq 32 \text{ Мн/м}^2$	Стали 20Х3МВФ ($\Pi < 1,25 \text{ мм/год}$), 30ХМ ($\Pi < 1,75 \text{ мм/год}$), 20 ($\Pi < 2,3 \text{ мм/год}$)
	$p < 175; > 225$ $p \leq 32 \text{ Мн/м}^2$	У тех же марок сталей проницаемость резко понижается
75	$p \leq 250$ $p \leq 32 \text{ Мн/м}^2$	Сталь 20Х3МВФ ($\Pi < 0,75 \text{ мм/год}$)
	$p < 240; > 260$ $p \leq 32 \text{ Мн/м}^2$	У той же марки стали проницаемость резко понижается
≤ 75	$p \leq 400$ $p \leq 32 \text{ Мн/м}^2$	Стали X25T, 1X21H5T, X18H10T, 10X18H9TЛ

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
100 (газ)	760—870	Стали X17, 0X17T, 1X17H2, X18H10T, X17H13M2T
	760	Стали 0X13, 1X13
	≤ 60	Винипласт
Олеиновая кислота $C_{17}H_{35}COOH$		
Любая	$< t_{кип}$	Графит, пропитанный фенолформальдегидной смолой; фторопласт-4
Техническая (чистая)	≤ 300	Стали 0X23H28M3Д3T, X17H13M2T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
	≤ 200	Стали 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T
	≤ 100	Стали X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X14Г14H3T
	20	Стали 0X13, 1X13
92—95	≤ 80	Паронит (прокладочный материал)
98	20	Ферросилид С15
Кислота плотностью 0,964	$20 - t_{кип}$	Ферросилид С15
Олово Sn		
Расплавленное	300	Стали X18H10T, X17H13M2T
Олово хлорное $SnCl_4$		
Любая	$20 - t_{кип}$	Графит, пропитанный фенолформальдегидной смолой
5—24	20	Стали X18H10T ($\Pi = 1 \div 3 \text{ мм/год}$, точечная коррозия)

Продолжение

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
Раствор плотностью 1,21	$t_{кип}$	Сплав МФ-15 (антихлор)
	20	Стали X17H13M2T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), X17H13M3T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
Олово хлористое SnCl_2		
Насыщенный раствор	50	Стали X18H10T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), OX18H12B ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$); сплав МФ-15 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
	20	Сталь X17H13M2T ($\Pi = 1 \div 3 \text{ мм/год}$, точеч- ная коррозия)
Раствор, насыщенный на холоде	50	Сталь OX23H28M3Д3Т; сплав хастеллой С
5	20	Стали X18H10T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), X17H13M2T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$) точеч- ная коррозия
Парафин		
—	≤ 100	Стали OX13, 1X13, X17, OX17T, 1X17H2, X25T, X28, X14Г14H3T, X18H10T, OX18H12B, X17H13M2T, X17H13M3T, OX23H28M3Д3Т
	≤ 200	Алюминий А0, А
Расплавленный	60	Винипласт; антегмиты АТМ-1, АТМ-1Г, АТМ-10
Перекись водорода H_2O_2		
Любая	$20 - t_{кип}$	Стали X17H13M2T, OX18H10T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$); стекло кварцевое, керамика кислотоупорная, фаолит

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
Любая	≤ 300	Картон асбестовый (прокладочный материал)
	≤ 200	Фторопласт-4
	≤ 100	Паронит УВ-10 (про- кладочный материал)
0,3 (объемных)	60	Стали 1X13, 2X13, X17, OX17T, 1X17H2, X28, OX21H5T, X18H10T
0,5—40	20	Полипропилен
6		Алюминиевые сплавы АД00, АД0, АД1, АД
≤ 10	≤ 50	Эбониты марок 1751, 1726
≤ 20		Винипласт, полиизо- бутилен ПСГ
20	≤ 80	Стали 1X13, 2X13, X17 (незначительная корро- зия)
	20	Стали OX13, OX17T, 1X17H2, X25T, X28, X18H10T, X17H13M2T
≤ 30	≤ 25	Винипласт, полиизо- бутилен ПСГ, фторо- пласт-4
30	≤ 38	Пластикат полихлор- виниловый
	20	Стали OX18H10T, X18H10T, OX18H12B, X17H13M2T, X17H13M3T
40	≤ 25	Резина для гуммирова- ния марок 829, 1976-М, 2566, 4476, 4849 и эбони- ты марок 1751, 1726; ре- зина техническая (про- кладочный материал)
≤ 50	—	Алюминий А0
90 (чистая)	≤ 50	Алюминиевые сплавы АД00, АД0, АД1, АД
	20	Сталь 1X13

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ C$	
90 (техническая)	20	Стали X28, 0X18H10T
≤ 90	60	Фторопласт-3
	20	Полиэтилен
Пикриновая кислота $(NO_2)_3C_6H_2OH$		
1—10	$t_{кип}$	Стали 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T
1	20	Винипласт
3	—	Алюминий А0, АЛ2
10, насыщенный раствор	20	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X14Г14H3T, X18H10T, X17H13M2T
Пирогалловая кислота $C_6H_3(OH)_3$		
Любая	$20-t_{кип}$	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3Д3T
Пропионовая кислота C_3H_7COOH		
Любая	≤ 200	Фторопласт-4
	20	Алюминий А95, А85, А8
0,5	50	Алюминий А0 ($\Pi=0,2$ мм/год)
75—80		Алюминий А0 ($\Pi=1,5$ мм/год, язвенная коррозия)
98	$t_{кип}$	Стали 0X21H6M2T, X17H13M2T, 0X17T ($\Pi < 1,0$ мм/год), 0X21H5T ($\Pi < 1,0$ мм/год), X18H10T ($\Pi < 1,0$ мм/год)
99		Алюминий А0; алюминиевый сплав АД00

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ C$	
100	≤ 260	Титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1; титановый сплав ВТ5-1
	≤ 150	Сталь X17H13M3T
	≤ 140	Стали 0X21H6M2T, X17H13M2T
Ртуть Hg		
—	20—50	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3Д3T
	20	Алюминий А0; винипласт
Ртуть азотнокислая Hg $(NO_3)_2$		
Насыщенный раствор	$20-t_{кип}$	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3Д3T
Ртуть хлорная (сулема) HgCl₂		
0,1	$20-t_{кип}$	Стали X17H13M2T, 0X23H28M3Д3T, 0X21H5T ($\Pi < 1,0$ мм/год), X18H10T ($\Pi < 1,0$ мм/год) у всех сталей точечная коррозия
	20	Стали X17 ($\Pi < 1,0$ мм/год), 0X17T ($\Pi < 1,0$ мм/год), 1X17H2 ($\Pi < 1,0$ мм/год), X25T ($\Pi < 1,0$ мм/год), X28 ($\Pi < 1,0$ мм/год) у всех сталей точечная коррозия
0,7	20—100	Сплав МФ-15 ($\Pi < 3,0$ мм/год)
	$t_{кип}$	Стали 0X21H5T ($\Pi < 1,0$ мм/год), X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3Д3T у всех сталей точечная коррозия

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
C_c , %	t_c , °C	
0,7	20	Стали 0X21H5T ($\Pi < 1,0$ мм/год), X18H10T ($\Pi < 1,0$ мм/год), X17H13M2T ($\Pi < 1,0$ мм/год) у всех сталей точечная коррозия
1; 5; 10	100	Титан BT1-0 BT1-00, BT1-1
1; 5; 10 (аэрированный)	35—100	
Насыщенный раствор	100	Стали 25 ($\Pi = 0,7$ мм/год), 2X13
	85	
Растворы	20	Никель НП2
Салициловая кислота HO (C_6H_4COOH)		
≤ 5	≤ 85	Стали 0X17T, 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T
	≤ 75	Стали 0X13, 1X13, X17, 1X17H2, X25T, X28
1	80	Алюминий А0; алюминиевый сплав АД00
3	20	Алюминий А0 ($\Pi = 0,13$ мм/год)
10	20	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X18H10T, X17H13M2T
Свинец Pb		
Расплавленный	900	Сталь X18H10T ($\Pi < 3,0$ мм/год)
	600	Стали 1X13, 2X13, X17, 0X17T, 1X17H2
	400	Стали X25T ($\Pi < 1,0$ мм/год), X28 ($\Pi < 1,0$ мм/год), X18H10T ($\Pi < 1,0$ мм/год), X17H13M2T ($\Pi < 1,0$ мм/год)
	350	Алюминий А0, А

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
C_c , %	t_c , °C	
Свинец уксуснокислый Pb (CH_3COO) ₂		
Любая	≤ 200	Фторопласт-4
20	20— $t_{кип}$	Стали 0X17T, 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T
25	90— $t_{кип}$	
75	20	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3ДЗТ
Насыщенный раствор	90	Стали X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3ДЗТ; 0X13 ($\Pi < 1,0$ мм/год), 1X13 ($\Pi < 1,0$ мм/год)
	$t_{кип}$	
Раствор, насыщенный на холоде	≤ 100	Полиизобутилен ПСГ
	≤ 60	Винипласт
Разбавленный раствор	≤ 60	Полиизобутилен ПСГ
	≤ 40	Винипласт
Концентрированный раствор	$t_{кип}$	Сталь X18H10T
Сера S		
100 (расплавленная)	445	Углеродистые стали всех марок (незначительная коррозия)
	≤ 400	Графит и уголь формованные
	240	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
	130	Стали 0X13, 1X13, 2X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X18H10T, 0X18H12B, X17H13M2T, X17H13M3T, 0X23H28M3ДЗТ; латуни всех марок (незначительная коррозия); алюминий А95, А85, А7; фаялит, замазка арзамит 1 и 2

Продолжение

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
100 (расплавленная)	$20-t_{кип}$	Замазки кислотоупорные, керамика кислотоупорная, стекло известково-натриево-амальгированная
Раствор серы в CS_2	$t_{кип}$	Алюминий А0; алюминиевые сплавы АД00; АД0, АД1, АД
100 (твердая)	≤ 70	Алюминий А95, А85, А7; пластикат полихлорвиниловый
	20	Фторопласт-4
Топочные газы, содержащие серу	≤ 1100	Стали Х25Т, Х28, Х28Н4
Серосодержащие среды	≤ 600	Стали 0Х13, 1Х13
Серебро азотнокислое (ляпис) AgNO_3		
Любая	≤ 200	Фторопласт-4
5	20	Стали 1Х13, 2Х13, Х17, 0Х17Т, 1Х17Н2, Х28, Х18Н10Т
10	$20-t_{кип}$	Стали Х18Н10Т, Х17Н13М2Т, Х17Н13М3Т
	20	Стали 0Х13, 1Х13, 2Х13, Х17, 0Х17Т, 1Х17Н2
20	≤ 60	Титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1
Раствор, насыщенный на холоде	≤ 80	Полиизобутилен ПСГ
	≤ 60	Винипласт
Разбавленный раствор	≤ 60	Полиизобутилен ПСГ
	≤ 40	Винипласт
Расплавленный	250	Стали Х18Н10Т, 0Х18Н12Б, Х17Н13М2Т, Х17Н13М3Т

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
Серная кислота H_2SO_4		
Любая	$20-t_{кип}$	Фарфор кислотоупорный, стекло кварцевое
	$< t_{кип}$	Уголь формованный
	≤ 150	Эмаль кислотоупорная
	≤ 60	Винипласт
	20	Ферросилиды С15, С17; замазка кислотоупорная с наполнителем андезитом
$\sim 0,01-0,05$	20	Латунь Л62
0,1-96 (азрированная)	30-50	Сталь Х17Н13М2Т
	30	Сталь Х18Н10Т
0,1-20 (азрированная)	50-70	Стали Х17Н13М2Т, Х17Н13М3Т
0,1-10 (азрированная)	50-70	Сталь Х18Н10Т
0,1-1 (неазрированная)	30-50	Стали Х17Н13М2Т, Х17Н13М3Т
	30	Сталь Х18Н10Т ($\Pi < 0,3 \text{ мм/год}$)
0,1-0,5 (неазрированная)	70	Стали Х17Н13М2Т, Х17Н13М3Т
0,1 (неазрированная)	30-70	Сталь Х18Н10Т
0,5-80	$20-t_{кип}$	Свинец С1, С2, С3, ССу3
0,5-5	50	Резина техническая (прокладочный материал)
0,5-1	20	Стали Х17Н13М2Т, Х18Н10Т ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
0,5	$p=1,4 \text{ Мн/м}^2$ 190	Сталь Х18Н10Т ($\Pi < 0,14 \text{ мм/год}$), латунь ЛЖМц-59-1-1 ($\Pi < 0,14 \text{ мм/год}$), алюминий А995, ферросилид С15

Продолжение

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
5—10	70	Сталь X17H13M2T ($\Pi < 1,0$ мм/год)
5—96 (насыщенная H_2)	20	Медь М3
	35	Медь М3 ($\Pi = 0,22$ мм/год)
6—20 (насыщенная H_2)	50	Медь М3 ($\Pi = 0,27$ мм/год)
≤ 10	$20 - t_{\text{кип}}$	Монель НМЖМц 28-2,5-1,5
10—50	—	Сплав хастеллой В
10—35	≤ 80	Бронза Бр.АЖ9-4 ($\Pi < 0,185$ мм/год)
10—40	20	Медь М1
	30	Сталь X17H13M2T
10—25	$70 - t_{\text{кип}}$	Сплав хастеллой Д ($\Pi < 1,0$ мм/год)
10—20	20	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
	50	Сталь X17H13M2T ($\Pi < 0,3$ мм/год)
10 (непрерывно насыщаемая хлором)	20	Сталь 0X21H6M2T, X17H13M2T
	≤ 60	Полипропилен
	70	Сплавы хастеллой С, хастеллой В ($\Pi = 0,53$ мм/год)
	95	Титан BT1 ($\Pi = 0,25$ мм/год); титано- вые сплавы BT3-1 ($\Pi = 0,56$ мм/год), BT5-1 ($\Pi = 0,33$ мм/год), BT6 ($\Pi = 0,38$ мм/год), OT4 ($\Pi = 0,63$ мм/год); свинец С3
	$t_{\text{кип}}$	Свинец С1, С2, С3; сплав хастеллой В
10 (непрерывно насыщаемая хлором)	≤ 90	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
15	≤ 30	Асбестовый картон (прокладочный материал)
	≤ 40	Титановый сплав BT3-1
15—98	≤ 100	Паронит ПХ-2 (про- кладочный материал)
20—50	90	Свинец С3
20	≤ 40	Титановый сплав BT3-1
	20	Сталь X17H13M2T, алюминий А995 ($\Pi = 0,173$ мм/год)
	95	Титан BT1-1 ($\Pi = 0,41$ мм/год); титано- вые сплавы BT3-1 ($\Pi = 0,95$ мм/год), BT5-1 ($\Pi = 0,7$ мм/год), BT6 ($\Pi = 0,6$ мм/год)
≤ 20	От -30 до $+100$	Резина кислотошело- честойкая марок 6290 ЛРТИ, 4999, 5145
20 (непрерывно насыщаемая хлором)	≤ 90	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
25—75	$20 - t_{\text{кип}}$	Графит и уголь, про- питанные фенольными смолами
76—96	≤ 80	
25—60	70	Сплав хастеллой С ($\Pi < 0,3$ мм/год)
25—98	≤ 100	Паронит 9-1-СКФ (про- кладочный материал)
25	$20 - t_{\text{кип}}$	Сплав хастеллой В
	190 $\rho = 1,3 \text{ Мн/м}^2$	Ферросилид С15 ($\Pi < 1,5$ мм/год)
≤ 30	≤ 80	Асбовинил с антофи- литасбестом (о. с.)

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
30—65	≤ 90	Свинец С1, С2, С3
30	20	Текстолит (о. с.)
	≤ 600	Асбест (о. с.) — прокладочный материал
33	70	Резина ИРП-1258, ИРП-1259 (прокладочный материал)
35—55	≤ 40	Бронза Бр.АЖ9-4; паронит (прокладочный материал)
35	80	Бронза Бр.АЖ9-4
≤ 40	20	Сталь Х17Н13М2Т
	≤ 40	Полиэтилен
40	≤ 300	Асбест (прокладочный материал)
	≤ 60	Сталь Х17Н13М2Т ($\Pi < 1,0$ мм/год); полиизобутилен ПСГ
	20	Древесно-слоистый пластик ДСП-В
40 (непрерывно насыщаемая хлором)	≤ 60	Титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1
43—78	20	Свинец С1, С2, С3
≤ 50	≤ 65	Резина для гуммирования марки 829
51—76	≤ 30	Пластикат полихлорвиниловый (прокладочный материал)
50—75	≤ 95	Паронит (прокладочный материал)
50	20— $t_{кип}$	Сплав хастеллой В
	10—12	Титан ВТ1-1 ($\Pi = 0,51$ мм/год)

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
50	20	Латунь ЛС59-1, сплав хастеллой С
	40	Свинец ССу 2, ССу 3
	70	Сплав хастеллой С ($\Pi < 1,0$ мм/год)
50 (насыщенная CuSO_4)	≤ 50	Титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1; титановые сплавы ВТ3-1, ВТ5-1, ОТ4, ОТ4-0, ОТ4-1
	80	Титан ВТ1-1 ($\Pi = 0,31$ мм/год); титановые сплавы ВТ3-1 ($\Pi = 0,62$ мм/год), ВТ5-1 ($\Pi = 0,7$ мм/год), ВТ6 ($\Pi = 0,77$ мм/год), ОТ4 ($\Pi = 0,37$ мм/год)
50	≤ 95	Паронит УВ-10 (прокладочный материал)
50 (насыщенная азотом или хлором)	20	Сплав хастеллой С
54—72 (насыщенная Cl_2)		
55	80	Бронза Бр.АЖ9-4 ($\Pi = 1,086$ мм/год)
≤ 60	≤ 80	Сталь 0Х23Н28М3Д3Т ($\Pi < 1,0$ мм/год)
60	≤ 70	Сплавы хастеллой В, хастеллой С ($\Pi < 1,0$ мм/год)
	20	Сплавы хастеллой В, хастеллой С
	$t_{кип}$	Сплав хастеллой В ($\Pi < 1,0$ мм/год)
60 (непрерывно насыщаемая хлором)	20	Титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1
	60	Титан ВТ1-0 ($\Pi < 0,53$ мм/год)

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
C_c , %	t_c , °C	
≤ 65	20	Асбовинил с антофилитасбестом
65	30—80	Резина техническая (прокладочный материал)
	50—70	Пластикат полихлорвиниловый (о. с.)
67—70	≤ 160	Фторопласт-4
65—75	≤ 40	Свинец С1, С2, С3
65—98	20	Стали 1Х13, 2Х13, 3Х13, ВМСт.3сп, 10, 20
≤ 70	20	Резина для гуммирования марки 4849; эбониты марок 1751, 1726; замазки арзамит 1 и 2
≤ 70	≤ 70	Резина для гуммирования марок 2566, 4476, 1976-М
	≤ 100	Древесина бакелизованная
70	≤ 70	Резина ИРП-1225, ИРП-1258, ИРП-1257
> 70	≤ 80	Сталь 0Х23Н28М3ДЗТ ($\Pi < 1,0$ мм/год)
70—96 (аэрированная)	50	Сталь Х17Н13М2Т
75	$20 - t_{кип}$	Графит, пропитанный фенолформальдегидной смолой
	≤ 120	Антегмиты АТМ-1, АТМ-1Г, АТМ-10
	≤ 70	Сплав хастеллой В
	≤ 40	Свинец С3
	60—70	Асбест (прокладочный материал)
	≤ 150	Асбестовый картон (прокладочный материал)

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
C_c , %	t_c , °C	
75—96	≤ 171	Графит, пропитанный фенолформальдегидной смолой
75—85	70	Сплав хастеллой В
78	20	Сплавы 75Х28Л, 185Х34Л
	53—57	Свинец С1
	95—100	Свинец С1 ($\Pi = 0,24$ мм/год), С3 ($\Pi = 0,164$ мм/год)
≤ 78	≤ 80	Сталь Х23Н28М2Т
80	100	Антегмиты АТМ-1, АТМ-1Г, АТМ-10
	20	Стали 0Х21Н5Т, 0Х21Н6М2Т, 1Х13 ($\Pi < 1,0$ мм/год), Х28 ($\Pi < 1,0$ мм/год), Х18Н10Т ($\Pi < 1,0$ мм/год)
	50	Асбестовый картон (прокладочный материал)
	70	Сплавы хастеллой В, хастеллой С
	≤ 200	Фторопласт-4
	≤ 80	$20 - t_{кип}$	Свинец С2
≤ 120		Свинец ССу2
80—96	30—75	Асбест (о. с.) — прокладочный материал
	30	Сталь Х17Н13М2Т
80—90	≤ 40	Полиизобутилен ПСГ (о. с.)
85	50	Стали Х18Н10Т ($\Pi < 1,0$ мм/год), Х17Н13М2Т ($\Pi < 0,5$ мм/год)

Продолжение

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
85	≤ 70	Сплавы хастеллой В, хастеллой С
	≤ 80	Асбестовый картон (прокладочный материал)
	≤ 100	Фторопласт-4
86—94	≤ 180	Паронит УВ-10 (прокладочный материал)
87+ азот, хлор или воздух	20	Сталь X18H10T, сплав хастеллой С
85—96	30	Сталь X18H10T
≤ 90	20	Свинец С3
90—95		Стали X18H10T, 10X18H9TЛ, 0X18H10T
90	20	Сталь ВМСт.Зсп
	≤ 40	Свинец С3; пластикат полихлорвиниловый (о. с.)
	90	Свинец С3; сталь ВМСт.Зсп ($\Pi=0,97$ мм/год)
	≤ 95	Паронит УВ-10 (прокладочный материал)
	$t_{кип}$	Сталь X25T ($\Pi < 1,0$ мм/год)
90—96 (аэрированный)	50	Сталь X18H10T ($\Pi < 0,5$ мм/год)
92	20	Резина техническая (прокладочный материал)
	≤ 100	Паронит (прокладочный материал)
	≤ 280	Асбестовый картон, обернутый пленкой фторопласта-4 (о. с.) — прокладочный материал

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
92—96	≤ 90	Паронит (прокладочный материал)
93	≤ 40	Асбестовый картон (прокладочный материал)
	≤ 70	Сталь 0X21H5T ($\Pi < 0,16$ мм/год)
	≤ 90	Свинец С3 ($\Pi=0,294$ мм/год)
≤ 95	20	Свинец С2
95	≤ 100	Ферросилид С15, асбест голубой (прокладочный материал)
96—98	≤ 95	Асбестовый картон (о. с.) — прокладочный материал
96	20	Сплавы хастеллой В, хастеллой С
	50	Стали X17H13M2T, X17H13M3T, X18H10T ($\Pi < 0,5$ мм/год)
	70	Сплав хастеллой С
	$t_{кип}$	Сплав хастеллой В ($\Pi=1,17$ мм/год)
≤ 96	≤ 60	Фаолит, винипласт, полиизобутилен ПСГ
96	$20-t_{кип}$	Базальт плавный, диабаз плавный, природные кислотоупоры (кварцит и фельзит-порфир), керамика кислотоупорная
97	≤ 60	Паронит 56 (прокладочный материал)
98	20	Стали X25T, X28, 0X21H5T, X17H13M2T, 1X13 ($\Pi < 1,0$ мм/год), X17 ($\Pi < 1,0$ мм/год), 0X17T ($\Pi < 1,0$ мм/год), X18H10T ($\Pi < 1,0$ мм/год); полипропилен

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы I
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
98	≤ 80	Стали 0X21H6M2T, 0X21H5T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
	≤ 90	Свинец С1, С2, С3 (о. с.) — прокладочный материал
98 (контактная)	50—70	Стали 1X21H5T, 0X21H5T
99	20	Сталь X17H13M2T
100		Свинец ССу2, ССу3
Концентрированные растворы	20	Стали 1X13, 2X13, 3X13, X17; медь М1, М2; бронза Бр.КМц3-1 ($\Pi = 0,39 \text{ мм/год}$)
	40	Бронза Бр.КМц3-1 ($\Pi = 0,74 \text{ мм/год}$)
	$20 - t_{\text{кип}}$	Картон асбестовый, паронит УВ-10 (прокладочные материалы)
Картон асбестовый, паронит (прокладочные материалы)		
Разбавленные растворы		
Олеум (5—20% SO ₃)	≤ 100	Стали 0X21H6M2T, X17H13M2T
	≤ 70	Стали 0X21H5T, X18H10T
	20	Алюминий А0 ($\Pi = 0,22 \text{ мм/год}$)
Олеум (25—30% SO ₃)	20	Алюминий А0 ($\Pi < 0,14 \text{ мм/год}$)
Олеум (60% SO ₃)	70	Стали 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T
Серный ангидрид SO₂		
Любая (сухой газ)	≤ 400	Углеродистые стали всех марок
	Любая, включая и высокую	Базальт плавленный, керамика кислотоупорная, природные кислотоупоры (андезит и бештаунит)

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы	
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$		
Любая (влажный газ)	≤ 120	Древесина бакелизованная	
	20	Винипласт	
Любая (сухой и влажный газ)	≤ 500	Картон асбестовый кислотостойкий	
	≤ 375	Паронит (прокладочный материал)	
2	≤ 40	Резины для гуммирования марок 1976-М, 2566, 4476	
≤ 20	20	Фоолит	
Сернистая кислота H₂SO₃			
Любая	$20 - t_{\text{кип}}$	Антегмиты АТМ-1, АТМ-1Г, АТМ-10; графит, пропитанный фенолформальдегидной смолой; фоолит	
	$< t_{\text{кип}}$	Керамика кислотоупорная, цемент кислотоупорный, фторопласт-4	
	≤ 300	Эмаль кислотоупорная	
	Любая	Стекло кварцевое, базальт плавленный	
	≤ 90	Бетон кислотоупорный, древесина бакелизованная, текстолит, цемент глетоглицерновый, цемент серный, фарфор кислотоупорный	
	≤ 65	Резины для гуммирования марок 829, 1976-М, 2566, 4476, 4849	
	≤ 40	Винипласт, пластикат полихлорвиниловый	
	0,2—0,3	20	Латуни всех марок (незначительная коррозия)
			Алюминий А0 ($\Pi = 0,14 \text{ мм/год}$)
	0,3—0,5		Стали X18H10T, 0X18H10T

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
C_c , %	t_c , °C	
0,3	≤ 40	Свинец СЗ
0,5	≤ 75	
1,5—2	60	Резина техническая (прокладочный материал)
2	≤ 50	Стали X17 ($\Pi < 1,0$ мм/год), OX17T ($\Pi < 1,0$ мм/год), 1X17H2 ($\Pi < 1,0$ мм/год), X25T ($\Pi < 1,0$ мм/год), X28 ($\Pi < 1,0$ мм/год)
	20	Стали OX21H5T, X18H10T
4,5	≤ 130	Стали OX18H10T, X18H10T
5	20	Медь М2 (незначительная коррозия)
5—10		Алюминий А0 ($\Pi < 0,16$ мм/год)
20		Стали X18H10T, OX18H10T, OX18H12Б, X17H13M2T
Насыщенные растворы	20 $p=0,4$ Мн/м ²	Стали X14Г14НЗТ, X18H10T, OX18H12Б, OX18H10T, X17H13M2T
	100	Стали X17H13M2T, OX23H28M3ДЗТ
	160—200 $p=0,8 \div +2,0$ Мн/м ²	Стали X17H13M2T, X17H13M3T
Насыщенная при +20 °C	20	Стали OX21H5T, OX21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T
Разбавленные растворы	20— $t_{кип}$	Картон асбестовый, паронит (прокладочные материалы)
	От —30 до +100	Резина кислотощелочестойкая марок 6290 ЛРТИ, 4999, 5145 (прокладочные материалы)
Растворы	20	Латуни всех марок (незначительная коррозия)

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы	
C_c , %	t_c , °C		
$H_2SO_4 + 5\% SO_2$	20	Сталь OX21H6M2T	
$H_2SO_4 + 20\% SO_2$		Стали OX21H5T, OX21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T	
Газ влажный		Стали OX21H5T, OX21H6M2T, X17H13M2T, OX23H28M3ДЗТ, X18H10T ($\Pi < 1,0$ мм/год)	
Сернистый ангидрид SO_2			
Любая (сухой газ)	≤ 750	Сплав МФ-15; ферросилиды С15, С17	
	≤ 170	Антегмиты АТМ-1, АТМ-1Г, АТМ-10; графит, пропитанный фенолформальдегидной смолой	
	≤ 150	Керамика кислотоупорная, природные кислотоупоры (андезит, кварцит), фарфор кислотоупорный, эмаль кислотоупорная	
	≤ 90	Бетон кислотоупорный, цемент серный	
	≤ 80	Полиизобутилен ПСГ, стекло кварцевое и известково-натриевое	
	≤ 60	Винипласт	
	20	Алюминий А0; медь МЗ; свинец С4	
	20—70	Титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1	
	Любая (сухой и влажный газ)	≤ 500	Картон асбестовый кислотостойкий (прокладочный материал)
		≤ 375	Паронит (прокладочный материал)
≤ 300		Стали OX18H10T, X18H10T, OX18H12Б, X17H13M2T	

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
Любая (сухой и влажный газ)	≤ 100	Фторопласт-4
	≤ 60	Эбониты марок 1751, 1726
	≤ 30	Фаолит
	20	Свинец СЗ; алюминий АДГ (незначительная коррозия)
Любая (влажный газ)	≤ 500	Стали 0X18H10T ($P < 1,0$ мм/год), X18H10T ($P < 1,0$ мм/год), 0X18H12B ($P < 1,0$ мм/год)
	40	Винипласт
Жидкий	—	Алюминий А0; медь МЗ; свинец С4
SO ₂ , насыщенный водой	20—60	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
7—8	600	Титановый сплав BT15
Сероводород H ₂ S		
Любая (сухой газ)	≤ 900	Ферросилиды С15, С17
	≤ 250	Алюминий А95, А85, А8
	≤ 200	Стали 0X17T, 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T
	≤ 100	Стали 0X13, 1X13, X17, 1X17H2, X25T, X28
	20	Свинец С4; медь МЗ и латуни всех марок (незначительная коррозия)
Любая (газ и водные растворы)	20— $t_{кип}$	Керамика кислотоупорная, стекло известково-натриевое, эмаль кислотоупорная

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
Любая (газ и водные растворы)	≤ 130	Фаолит
	≤ 80	Полиизобутилен ПСГ
	≤ 65	Эбониты марок 1751, 1726
	≤ 40	Винипласт
	От -30 до +65	Резина кислотощелочестойкая марок 6290 ЛРТИ, 4999, 5145
Любая (влажный газ)	≤ 250	Алюминий А95, А85, А8
	20	Стали X28, 0X21H5T, 0X21H6M2T, 0X18H10T, X18H10T, 10X18H9TЛ, 0X18H12B, X17H13M2T
Насыщенные растворы	20— $t_{кип}$	Графит, пропитанный фенолформальдегидной смолой
	65	Резины для гуммирования марок 829, 1976-М, 2566, 4476, 4849 (все марки о. с.)
	40	Винипласт
100 (сухой газ)	≤ 100	Фторопласт-4
	60	Винипласт
100 (жидкий)	—	Стали ВМСт.Зсп ($P < 1,0$ мм/год), 10 ($P < 1,0$ мм/год), 20 ($P < 1,0$ мм/год), 25 ($P < 1,0$ мм/год)
80 (сухой газ)	≤ 200	
Сероуглерод CS ₂		
Любая	20— $t_{кип}$	Сталь ВМСт.Зсп; алюминиевый сплав АД1; базальт плавленный, диабаз плавленный, эмаль кислотоупорная

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ C$	
Любая (влажный газ)	—	Фаолит
100 (сухой газ)	20	Пластикат полихлорвиниловый, винипласт (о. с.)
—	$20 - t_{кип}$	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X18H10T, X17H13M2T
	≤ 120	Картон прокладочный
	280	Паронит ЭЧ (о. с.)
Жидкий и пары	≤ 130	Паронит (прокладочный материал)
Скипидар		
—	110	Свинец С4
	≤ 100	Алюминий А0, А
	35	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X18H10T, X17H13M2T
	60	Винипласт
Соляная кислота HCl		
Любая (водные растворы)	$20 - t_{кип}$	Сплав МФ-15 (антихлор); антегмиты АТМ-1, АТМ1-Г, АТМ-10; фторопласт-4, замазки кислотоупорные
	$< t_{кип}$	Графит, пропитанный фенолформальдегидной смолой, керамика кислотоупорная, стекло известково-натриевое
	≤ 100	Диабаз плавленный, фаолит, текстолит (о. с.)
	≤ 90	Цемент серный

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ C$	
Любая (водные растворы)	≤ 80	Полиизобутилен ПСГ
	≤ 60	Полнэтилен, пластикат полихлорвиниловый
	≤ 65	Резины для гуммирования марок 829, 1976-М, 2566, 4476, 4849
		Ферросилиды С15, С17
Любая (насыщенная Cl_2)	20	Титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1
0,2	≤ 50	Стали 0X23H28M3ДЗТ, 0X13 ($\Pi < 1,0$ мм/год), 1X13 ($\Pi < 1,0$ мм/год), X17 ($\Pi < 1,0$ мм/год), 0X17T ($\Pi < 1,0$ мм/год), 1X17H2 ($\Pi < 1,0$ мм/год), X25T ($\Pi < 1,0$ мм/год), X28 ($\Pi < 1,0$ мм/год), X18H10T ($\Pi < 1,0$ мм/год), X17H13M2T ($\Pi < 1,0$ мм/год) для всех сталей точечная коррозия
$\leq 0,5$	≤ 100	Титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1; титановые сплавы ВТ5-1, ОТ4, ОТ4-0, ОТ4-1
0,5	20	Стали X17 ($\Pi < 1,0$ мм/год), 0X17T ($\Pi < 1,0$ мм/год), 1X17H2 ($\Pi < 1,0$ мм/год), X28 ($\Pi < 1,0$ мм/год)
	≤ 50	Стали X17H13M2T, 0X23H28M3ДЗТ, X18H10T ($\Pi < 1,0$ мм/год) для всех сталей точечная коррозия
1—3,5	20	
1	$t_{кип}$	Сплав хастеллой В ($\Pi = 0,22$ мм/год)
	60—95	Титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1; титановые сплавы ВТ5-1, ОТ4, ВТ4-0, ОТ4-1

Продолжение

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
1	≤ 70	Сплав хастеллой С
	100	Монель НМЖМц 28-2,5-1,5; ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$); титан BT1-0 ($\Pi = 0,5 \text{ мм/год}$)
	20	Монель НМЖМц 28-2,5-1,5; алюминий А8 ($\Pi < 0,26 \text{ мм/год}$), алюминиевые сплавы АД1 ($\Pi < 0,29 \text{ мм/год}$), АМцС ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
1—20	$< t_{\text{кип}}$	Сплав хастеллой В
	20	Сплав хастеллой С
1—2			Сталь 0Х23Н28М3ДЗТ, сплавы хастеллой В и С
	70	Сплавы хастеллой В, хастеллой С ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
	$t_{\text{кип}}$	Сплав хастеллой В
2—3	50—60	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
2	50	Титановые сплавы ОТ4, BT3-1, BT5-1
3	20	Стали X17H13M2T, X18H10T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
	40	Резина техническая (прокладочный материал)
	50	Титановые сплавы ОТ4 ($\Pi = 1 \text{ мм/год}$), BT5-1 ($\Pi = 0,54 \text{ мм/год}$)
3 (в состоянии движения)	98	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
4	20	Медь М1, М2
4+5,5% O ₂		Медь М2($\Pi = 0,28 \text{ мм/год}$)

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
4+10,5% O ₂	20	Медь М2($\Pi = 0,85 \text{ мм/год}$)
4+15% O ₂		Медь М2($\Pi = 1,06 \text{ мм/год}$)
		Стали 0Х21Н5Т, X17H13M2T, X18H10T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$); 0Х23Н28М3ДЗТ ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$); сплавы хастеллой В, хастел- лой С; титан BT1-0, BT1-00, BT1-1; титано- вые сплавы BT3-1, BT5-1, ОТ4, ОТ4-1, ОТ4-0
5	70	Сплав хастеллой В ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
	$t_{\text{кип}}$	Сплав хастеллой В
	≤ 100	Стекло боросиликат- ное и кварцевое
≤ 10	≤ 100	Полиэтилен
		Сплав хастеллой В ($\Pi = 0,31 \text{ мм/год}$)
10	≤ 100	Сплав хастеллой В; свинец С1($\Pi < 0,18 \text{ мм/год}$)
	70	Сплав хастеллой В ($\Pi = 0,88 \text{ мм/год}$)
	30	Ферросилид С15 ($\Pi = 0,29 \text{ мм/год}$)
	20	Стали 0Х21Н5Т ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), X18H10T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), сплавы хастеллой В ($\Pi = 0,16 \text{ мм/год}$), хастел- лой С ($\Pi = 0,65 \text{ мм/год}$); титан BT1-0, BT1-00, BT1-1; титановые сплавы BT3-1($\Pi = 0,41 \text{ мм/год}$), BT5-1($\Pi = 0,54 \text{ мм/год}$), ОТ4 ($\Pi = 0,42 \text{ мм/год}$); медь М3
10 (в состоянии движения)		Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1

Продолжение

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
10 (азирро- ванная)	70	Сплав хастеллой В ($\Pi=0,21$ мм/год)
	100	Сплав хастеллой В ($\Pi=0,66$ мм/год)
	135	Сплав хастеллой В ($\Pi=1,02$ мм/год)
≤ 10 (насыщенная Cl_2)	90	Титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1
10—35	20	Текстолит
10—32	≤ 80	Резина техническая (прокладочный материал)
10, 15	20	Сплавы хастеллой В, хастеллой С ($\Pi < 1,0$ мм/год)
	70	Сплав хастеллой В ($\Pi < 1,0$ мм/год)
	$t_{кип}$	Сплав хастеллой В
15	20	Титан ВТ1-0 ($\Pi=0,14$ мм/год); тита- новые сплавы ОТ4 ($\Pi=0,96$ мм/год); ВТ3-1 ($\Pi=1,0$ мм/год), ВТ5-1 ($\Pi=1,28$ мм/год)
15+0,1% NaNO_2	60	Титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1
15+4% Cu_2Cl_2		
18	≤ 100	Андезит
20	20	Хастеллой В; древес- но-слоистый пластик ДСП-В
	40—50	Винипласт, асбест го- лубой (прокладочные материалы)
	70	Сплав хастеллой В ($\Pi=0,91$ мм/год)
	$t_{кип}$	Сплав хастеллой В ($\Pi=0,6$ мм/год)

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
≤ 20 (насыщенная Cl_2)	60	Титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1
20—36	≤ 60	Гранит
25	20	Сплавы хастеллой В, хастеллой С
25; 35 (неазиро- ванная)	70, 100	Сплав хастеллой В
	135	Сплав хастеллой В ($\Pi < 0,22$ мм/год)
25 (азиро- ванная)	70	Сплав хастеллой В ($\Pi=0,14$ мм/год)
	100	Сплав хастеллой В ($\Pi=0,39$ мм/год)
	135	Сплав хастеллой В ($\Pi=0,88$ мм/год)
25—50	≤ 100	Паронит ПХ-2, пар- онит 9-1-СКФ (прокла- дочные материалы)
26	≤ 300	Асбест (прокладочный материал)
27	≤ 95	Паронит УВ-10 (о. с.) — прокладочный материал
28+0,1% NaNO_2	20	Титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1
28+8% Cu_2Cl_2		
28+0,5% NaNO_2	60	
28+8% Cu_2Cl_2		
≤ 30	40—80	Полиизобутилен ПСГ
	≤ 40	Винипласт
> 30	≤ 60	Винипласт
30	20	Сталь 0Х21Н5Т ($\Pi < 1,0$ мм/год); медь МЗ ($\Pi=0,85$ мм/год)

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
C_c , %	t_c , °C	
30	50	Резина ИРП-1225, ИРП-1258, ИРП-1259
	60	Полипропилен
35	25	Полиэтилен (о. с.)
35,5	≤ 50	Кварцит
37	20	Сплавы хастеллой В, хастеллой С ($\Pi < 1,0$ мм/год)
	70	Сплав хастеллой В ($\Pi = 1,0$ мм/год)
	$t_{кип}$	Сплав хастеллой В ($\Pi = 0,44$ мм/год)
37 (азрированная)	70	Сплав хастеллой В
	100	Сплав хастеллой В ($\Pi = 0,21$ мм/год)
38	$20 - t_{кип}$	Диабаз плавленный
100 (пары)	≤ 90	Асбест (прокладочный материал)
	400	Асбестовый картон (о. с.) — прокладочный материал
Концентрированная	$20 - t_{кип}$	Андезит, картон асбестовый (прокладочные материалы)
	≤ 100	Фарфор кислотоупорный, паронит УВ-10
	≤ 30	Полистирол
	20	Алюминий А0; А; эмаль кислотоупорная
Разбавленные водные растворы	$20 - t_{кип}$	Картон асбестовый, паронит (прокладочные материалы)
	$< t_{кип}$	Гагат

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
C_c , %	t_c , °C	
Разбавленные водные растворы	≤ 100	Асбовинил с антофилитасбестом
	От -30 до $+100$	Резина кислотощелочестойкая марок 6290 ЛРТИ, 4999, 5145 (прокладочные материалы)
Спирт амиловый $CH_3(CH_2)_3CH_2OH$		
Любая	$< t_{кип}$	Графит, пропитанный фенолформальдегидной смолой
96	≤ 200	Фторопласт-4
	≤ 60	Винипласт, полиэтилен, фторопласт-3
—	20	Стали 0X13, 1X13, X17, 1X17H2, X25T, X28, X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3D3T; антегмиты АТМ-1, АТМ-1Г, АТМ-10
Спирт бутиловый (бутанол) $CH_3(CH_2)_3CH_2OH$		
Любая	$\leq t_{кип}$	Графит, пропитанный фенолформальдегидной смолой
	≤ 200	Алюминий А95, А85, А8; фторопласт-4
—	20	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3D3T; антегмиты АТМ-1, АТМ-1Г, АТМ-10
65	80—84	Паронит (прокладочный материал)
90	100	
100	40	Винипласт
	20	Полиэтилен, полиизобутилен ПСГ

Продолжение

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
C_c , %	t_c , °C	
Спирт метиловый (метанол) CH_3OH		
Любая (водные растворы)	$20 - t_{кип}$	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X18H10T, 10X18H9TЛ, 0X18H12B, X17H13M2T, медь М3, М3р; алюминий А95, А85, А8; латуни всех марок; антегмиты АТМ-1, АТМ-1Г, АТМ-10; керамика и эмаль кислотоупорные; картон асбестовый кислотостойкий (прокладочный материал), резина кислотощелочестойкая марок 6290 ЛРТИ, 4999, 5145
	$< t_{кип}$	Графит, пропитанный фенолформальдегидной смолой
	От -15 до +20	Пластикат полихлорвиниловый
	≤ 100	Фаолит
	≤ 80	Текстолит; замазки арзамат 1 и 2
	≤ 65	Резины для гуммирования марок 829, 1976-М, 2566, 4476, 4849 и эбониты марок 1751, 1726
	20	Асбовинил, древесина, полистирол, полиэтилен, цемент серный
	100	≤ 130	Асбест (прокладочный материал)
≤ 85		Полиизобутилен без наполнителя
≤ 65		Полиизобутилен ПСГ
≤ 40		Винипласт

Среда		Рекомендуемые материалы	
C_c , %	t_c , °C		
Спирт этиловый C_2H_5OH			
Любая (водные растворы)	$20 - t_{кип}$	Стали 1X13, 2X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, 0X18H10T, X18H10T, 10X18H9TЛ, X17H13M2T; медь М2, М2р, М3, М3р; латуни Л62, ЛС59-1, ЛЖМц59-1-1; алюминий А8, А7, А6, А5, А0, А; алюминиевые сплавы АД00, АД0, АД1, АД; антегмиты АТМ-1, АТМ-1Г, АТМ-10; фторопласт-4; паронит (прокладочный материал)	
	$< t_{кип}$	Графит, пропитанный фенолформальдегидной смолой	
	≤ 60	Резины для гуммирования марок 829, 1976-М, 2566, 4476 и эбониты марок 1726, 1751	
	≤ 40	Винипласт, полиэтилен, полиизобутилен ПСГ	
	От -30 до +100	Резина кислотощелочестойкая марок 6290 ЛРТИ, 4999, 5145	
	2	20	Сталь 0X21H5T; алюминиевые сплавы АД00, АД0, АД1, АД
			Алюминиевые сплавы АД00, АД0, АД1, АД
	5—100		Алюминиевые сплавы АД00, АД0, АД1, АД; алюминий А0
	96 (водный раствор)	$20 - t_{кип}$	Графит и уголь, пропитанные фенольными смолами
		60	Полиэтилен
≤ 25		Полистирол	
20		Асбовинил с антофилитасбестом или с хризотиласбестом	

Продолжение

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ C$	
100	≤ 60	Полиизобутилен ПСГ; свинец С4
	20	Стали ВМСт.Зсп, Ст.5, 10, 20, 20К, 25
Спирт, содержащий 1% H_2SO_4	40	Стали X17H13M2T, X17H13M3T, X18H10T ($\Pi=0,27$ мм/год)
Стеариновая кислота $C_{17}H_{35}COOH$		
100	≤ 380	Стали X17H13M2T, X17H13M3T; титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1; титановый сплав ВТ5-1
	≤ 340	Сталь 0X21H6M2T
	≤ 260	Стали 0X21H5T, X18H10T
	≤ 100	Стали X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28
	≤ 60	Стали 0X13, 1X13; винипласт
Чистая	$t_{кип}$	Алюминий А0; алюминиевый сплав АД00
Плотностью 0,85	≤ 130	Стали 0X21H5T, X18H10T
	≤ 80	Стали 1X13, 2X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X28
Таннин $C_{16}H_{32}O_{16}$		
10—50	$20-t_{кип}$	Стали X18H10T, 0X18H12B, X17H13M2T, X17H13M3T
	20	Стали 1X13, 2X13, X17
10		Стали 0X13, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X14Г14Н3Т; алюминий А0, АЛ2; алюминиевые сплавы АД00, АД0, АД1, АД; ферросилид С15; сплав МФ-15

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ C$	
10	$t_{кип}$	Стали X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, 1X13 ($\Pi < 1,0$ мм/год), 2X13 ($\Pi < 1,0$ мм/год); ферросилид С15 ($\Pi < 1,0$ мм/год); сплав МФ-15 ($\Pi < 1,0$ мм/год)
	$20-t_{кип}$	Ферросилид С15, сплав МФ-15
50	$20-t_{кип}$	Стали 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X14Г14Н3Т
	20	
Толуол (метилбензол) $C_6H_5CH_3$		
—	$t_{кип}$	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X18H10T, X17H13M2T
	100	≤ 350	Паронит (прокладочный материал)
≤ 150		Асбест голубой (прокладочный материал)
≤ 80		Текстолит
Трихлоруксусная кислота CCl_3COOH		
Любая	20	Сплав хастеллой С
		Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X14Г14Н3Т, X18H10T, X17H13M2T
Трихлорэтилен C_2HCl_3		
—	20	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X18H10T, X17H13M2T
	$t_{кип}$	Стали X18H10T, X17H13M2T, X25T ($\Pi < 1,0$ мм/год), X28 ($\Pi < 1,0$ мм/год)

Продолжение

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
100	$< t_{кип}$	Фторопласт-4
	≤ 112	Паронит (прокладочный материал)
	> 100	Асбест (прокладочный и набивочный материалы)
	20	Полиэтилен (о. с.)
Уксусная кислота CH_3COOH		
Любая (водные растворы)	$< t_{кип}$	Графит, пропитанный фенолформальдегидной смолой; керамика кислотоупорная
	$20 - t_{кип}$	Стали X17, [OX17T, 1X17H2
	180	Замаска арзамит 1
	150	Базальт и диабаз плавные
	70	Эбонит марки 1726
	50	Сталь X28H4; алюминий АД1
	≤ 40	Стали X25T, X28, X28AH, X18H10T, OX18H12B
	40	Медь М1 ($\Pi < 0,8 \text{ мм/год}$)
	25	Медь М3 ($\Pi < 0,2 \text{ мм/год}$)
	20	Древесина бакелизированная
	0,1	$t_{кип}$	Алюминий А0 ($\Pi = 0,29 \text{ мм/год}$)
1-30	40	Медь М1 ($\Pi < 0,25 \text{ мм/год}$)
1-5	20	Медь М1
1	$20 - t_{кип}$	Стали 1X21H5T, OX21H5T, OX21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T
	≤ 90	Стали OX13, 1X13

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
≤ 5	25	Стали OX13, 1X13, OX21H6M2T
5	140-165	Стали OX21H5T, OX21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T
	$20 - t_{кип}$	Стали OX21H6M2T, X17H13M2T
	20-115	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
	≤ 75	Стали 1X21H5T, OX21H5T, X18H10T
	20	Стали X17, OX17T, 1X17H2, X28, 1X13 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
5-80	$20 - t_{кип}$	Сталь OX21H6M2T
5-70		Сталь OX21H5T
10-100	20	Сплавы 75X28Л, 185X34Л, С15 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$) Сплав С15
10-концентрированная	20	Стали X17H13M2T, X17H13M3T
10-50	≤ 40	Стали 1X13 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 2X13 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
10	$20 - t_{кип}$	Стали OX21H6M2T, X17H13M2T, X18H10T, OX18H12B; сплав хастеллой С
	20-115	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
	$t_{кип}$	Сталь X14Г14Н3Т
	≤ 75	Стали 1X21H5T, OX21H5T

Продолжение

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
10	20	Стали X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X14Г14НЗТ
	$< t_{\text{кип}}$	Эмали кислотоупорные
15	$20 - t_{\text{кип}}$	Стали 0X21H6M2T, X17H13M2T
	≤ 80	Стали 1X21H5T, 0X21H5T, X18H10T
20	$20 - 115$	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
	$20 - t_{\text{кип}}$	Стали 0X21H6M2T, X17H13M2T
	$t_{\text{кип}}$	Стали 1X21H5T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 0X21H5T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
	≤ 75	Стали 0X21H5T, X18H10T
	20	Стали X25T, X28, 1X21H5T; медь МЗ
≤ 25	≤ 40	Винипласт
25—ледяная	≤ 100	Фторопласт-4
25—60	≤ 60	Винипласт, полиизобутилен ПСГ
25	$20 - t_{\text{кип}}$	Стали 0X21H6M2T, X17H13M2T
	≤ 140	Стали 0X21H5T, X18H10T,
	≤ 165	Стали 0X21H6M2T, X17H13M2T
30	100, 115	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
	30	Сталь X18H10T
33	$20 - t_{\text{кип}}$	Сталь 0X21H6M2T
	≤ 80	Стали 1X21H5T, 0X21H5T, X18H10T, X17H13M2T

Среда		Рекомендуемые материалы	
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$		
40	115	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1	
≤ 50	100	Антегмиты АТМ-1, АТМ-1Г, АТМ-10	
	≤ 40	Стали 0X17T, 1X17H2	
50—98	$t_{\text{кип}}$	Сплавы хастеллой В, хастеллой С	
50—80		Стали 0X21H6M2T, X17H13M2T	
50	$t_{\text{кип}}$	Стали 1X21H5T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 0X21H5T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)	
		≤ 100	Сталь 0X21H5T; фаолит
		≤ 75	Сталь X18H10T
	≤ 50	Сталь 1X21H5T	
	140	Сталь 0X21H6M2T, X17H13M2T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)	
	165	Стали 0X21H6M2T, X17H13M2T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)	
20—115		Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1	
50 (насыщенная H_2)	20	Медь МЗ	
50 (пар)	$t_{\text{кип}}$	Стали 1X21H5T, 0X21H5T, 0X21H6M2T	
60	$20 - t_{\text{кип}}$	Стали 1X21H5T, 0X21H5T, 0X21H6M2T	
	$20 - 115$	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1	
	$t_{\text{кип}}$	Медь МЗ ($\Pi = 0,31 \text{ мм/год}$)	
	≤ 60	Стали X18H10T, X17H13M2T	
	25	Медь МЗ ($\Pi = 0,14 \text{ мм/год}$)	

Продолжение

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
10	20	Стали X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X14Г14Н3Т
	$\leq t_{\text{кип}}$	Эмали кислотоупорные
15	$20-t_{\text{кип}}$	Стали 0X21H6M2T, X17H13M2T
	≤ 80	Стали 1X21H5T, 0X21H5T, X18H10T
20	20—115	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
	$20-t_{\text{кип}}$	Стали 0X21H6M2T, X17H13M2T
	$t_{\text{кип}}$	Стали 1X21H5T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 0X21H5T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
	≤ 75	Стали 0X21H5T, X18H10T
	20	Стали X25T, X28, 1X21H5T; медь МЗ
≤ 25	≤ 40	Винипласт
25—ледяная	≤ 100	Фторопласт-4
25—60	≤ 60	Винипласт, полиизобутилен ПСГ
25	$20-t_{\text{кип}}$	Стали 0X21H6M2T, X17H13M2T
	≤ 140	Стали 0X21H5T, X18H10T,
	≤ 165	Стали 0X21H6M2T, X17H13M2T
30	100, 115	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
	30	Сталь X18H10T
33	$20-t_{\text{кип}}$	Сталь 0X21H6M2T
	≤ 80	Стали 1X21H5T, 0X21H5T, X18H10T, X17H13M2T

Среда		Рекомендуемые материалы	
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$		
40	115	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1	
≤ 50	100	Антегмиты АТМ-1, АТМ-1Г, АТМ-10	
	≤ 40	Стали 0X17T, 1X17H2	
50—98	$t_{\text{кип}}$	Сплавы хастеллой В, хастеллой С	
50—80		Стали 0X21H6M2T, X17H13M2T	
50		Стали 1X21H5T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 0X21H5T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)	
		≤ 100	Сталь 0X21H5T; фаолит
		≤ 75	Сталь X18H10T
50	≤ 50	Сталь 1X21H5T	
	140	Сталь 0X21H6M2T, X17H13M2T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)	
	165	Стали 0X21H6M2T, X17H13M2T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)	
20—115	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1		
50 (насыщенная H_2)	20	Медь МЗ	
50 (пар)	$t_{\text{кип}}$	Стали 1X21H5T, 0X21H5T, 0X21H6M2T	
60	$20-t_{\text{кип}}$	Стали 1X21H5T, 0X21H5T, 0X21H6M2T	
	20—115	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1	
	$t_{\text{кип}}$	Медь МЗ ($\Pi = 0,31 \text{ мм/год}$)	
	≤ 60	Стали X18H10T, X17H13M2T	
	25	Медь МЗ ($\Pi = 0,14 \text{ мм/год}$)	

Продолжение

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
70	20— $t_{кип}$	Стали 0X21H6M2T, X17H13M2T
	20—115	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
	≤ 40	Стали 1X21H5T, 0X21H5T, X18H10T; фаялит
	20—25	Резина техническая (прокладочный материал)
75	50	Резина ИРП-1225, ИРП-1256, ИРП-1259
80—100	50	Алюминий А0, А
	≤ 40	Полихлорвиниловый пластикат (прокладочный материал)
80	20— $t_{кип}$	Сталь 0X21H6M2T
	$t_{кип}$	Стали 1X21H5T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 0X21H5T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), X17H13M2T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
	≤ 80	Стали X18H10T, X17H13M2T
	≤ 40	Стали 1X21H5T, 0X21H5T; полиэтилен; полиизобутилен ПСГ
	20	Стали 1X13 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 2X13 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 3X13 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
89	80—110	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
96	95	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1; титановые сплавы BT3-1, BT5-1; OT4; OT4-0, OT4-1
	65—70	Паронит (прокладочный материал)

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
97	20—100	Паронит ЭЧ, паронит УВ-10 (прокладочные материалы)
Ледяная (98—99,8)	20— $t_{кип}$	Сплав хастеллой С; стекло известково-натриево-фарфор кислотоупорный, паронит (прокладочный материал)
	$t_{кип}$	Сталь 0X23H28M3ДЗТ; титан BT1-00, алюминий А0
	240	Титан BT1-0 ($\Pi = 1,29 \text{ мм/год}$)
	200	Титан BT1-0 ($\Pi = 0,5 \text{ мм/год}$)
	165	Стали 0X21H6M2T и X17H13M2T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
	100	Стали 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T
	125—135	Титан BT1-0 ($\Pi = 0,3 \text{ мм/год}$)
	≤ 60	Полиэтилен
	20	Алюминий А97, А95, А85; полиизобутилен ПСГ
	98	≤ 240	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1; титановый сплав BT5-1
≤ 150		Стали 0X21H6M2T, X17H13M3T
≤ 140		Сталь X17H13M2T
5; 25; 50; 75; 99,5 (азерированная)	35—100	Сталь 0X23H28M3ДЗТ; титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
$\leq 99,5$	≤ 100	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
99,5	$t_{кип}$	Алюминиевые сплавы АМцС, АМг2, АМг5

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
100	$20 - t_{\text{кип}}$	Сталь X17H13M2T
	100	Стали X17 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), X28 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
	≤ 90	Стали X18H10T, 0X21H5T
	≤ 80	Сталь 0X21H6M2T
	≤ 75	Стали 0X17T, X17, X28, 1X13 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
	25	Медь М1 ($\Pi = 0,19 \text{ мм/год}$), М3 ($\Pi = 0,2 \text{ мм/год}$)
	20	Стали X17, 0X17T, 1X17H2, X28; ангермит АТМ-1
Концентрированная	$p = 1,0 \text{ Мн/м}^2$	Стали X17H13M2T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), X17H13M3T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
	$t_{\text{кип}}$	Стали X18H10T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 0X18H12B ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$); сплавы хастеллой В, хастеллой С
Концентрированная, насыщенная O_2 или H_2	20	Медь М3
40+60% ангидрида	25	Ферросилиды С15 ($\Pi < 0,16 \text{ мм/год}$), С17 ($\Pi < 0,16 \text{ мм/год}$)
90+10% ангидрида		Ферросилиды С15 ($\Pi < 0,22 \text{ мм/год}$), С17 ($\Pi < 0,22 \text{ мм/год}$)
		$t_{\text{кип}}$	Ферросилиды С15 ($\Pi < 0,42 \text{ мм/год}$), С17 ($\Pi < 0,42 \text{ мм/год}$)
Ледяная + ацетальдегид	≤ 40	Алюминий А0, А; алюминиевые сплавы АД00, АД0, АД1, АД

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
Уксусный ангидрид $(\text{CH}_3\text{CO})_2 \cdot \text{O}$		
Любая	$20 - t_{\text{кип}}$	Сталь X17H13M2T; керамика кислотоупорная, стекло известково-натриево-фарфор кислотоупорный, эмаль кислотоупорная
	≤ 170	Стекло боросиликатное, замазка арзамит 1 и арзамит 2
	≤ 90	Цемент серный
	20	Асбовинил с антофилитасбестом
—	$t_{\text{кип}}$	Стали X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3Д3Т, X14Г14Н3Т ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 0X21H6M2T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
	≤ 80	Стали X17, 0X17T, 1X17H2, 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3Д3Т
	20	Стали 0X13, 1X13, X25T, X28, X14Г14Н3Т
99,5	$t_{\text{кип}}$	Сталь 0X23H28M3Д3Т; титан ВТ1-00, ВТ1-0
< 100	$20 - t_{\text{кип}}$	Графит и уголь, пропитанные фенольными смолами
100	$< t_{\text{кип}}$	Фторопласт-4
	≤ 40	Полиизобутилен ПСГ
Пары чистого ангидрида	60	Алюминий А0 ($\Pi = 0,12 \text{ мм/год}$)
	≤ 25	Алюминий А0; медь М2, М3
Чистый, содержащий 40% ледяной CH_3COOH	—	Медь М2, М3

Продолжение

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
C_c , %	t_c , °C	
Ангидрид плотности 1,073	$t_{кип}$	Стали X17H13M2T, X17 ($\Pi < 1,0$ мм/год), 0X17T ($\Pi < 1,0$ мм/год), 1X17H2 ($\Pi < 1,0$ мм/год), X28 ($\Pi < 1,0$ мм/год), X18H10T ($\Pi < 1,0$ мм/год)
	≤ 80	Стали X17, 0X17T, 1X17H2, X28, 0X21H5T, X18H10T
	20	Стали 1X13 ($\Pi < 1,0$ мм/год), 2X13 ($\Pi < 1,0$ мм/год)
При получении	—	M2 ($\Pi < 1,0$ мм/год), M3 ($\Pi < 1,0$ мм/год)
Формальдегид CH_2O		
1	20	Алюминий АД1 ($\Pi = 0,17$ мм/год)
2%-ный, содержащий 0,2% HCOOH	120	Стали X17H13M2T, X17H13M3T; медь M3; сплав хастеллой С
5	20	Алюминиевый сплав АД00, АД0, АД1, АД
9	90	Стали 1X21H5T, 0X21H5T
10	104	Стали X17H13M2T, X17H13M3T; сплав хастеллой С
	20	Алюминиевый сплав АД00 ($\Pi = 0,22$ мм/год)
10%-ный, содержащий следы HCOOH	117	Стали X17H13M2T, X17H13M3T; сплав хастеллой С
	104	Медь M3
20	20	Алюминиевый сплав АД00 ($\Pi = 0,18$ мм/год)
20%-ный, содержащий 10—15% ацетона и 0,1% HCOOH	135	Стали X17H13M2T, X17H13M3T; сплав хастеллой С; медь M3; бронза Бр.А5

Среда		Рекомендуемые материалы
C_c , %	t_c , °C	
35—40	30—40	Паронит (прокладочный материал)
37%-ный, содержащий 1% CH_3OH и 62% H_2O	36	Стали X18H10T, X17H13M2T; медь M3
40	$20 - t_{кип}$	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T, 0X23H28M3ДЗТ
	135	Стали X18H10T, 0X18H12B
	130	Асбест (о. с.) — прокладочный материал
	60	Винипласт, полиэтилен, пластикат полихлорвиниловый
	20	Алюминиевый сплав АД00 ($\Pi = 0,28$ мм/год)
40%-ный, содержащий 10% CH_3OH и 0,1% HCOOH	20	Стали X17H13M2T, X18H10T ($\Pi = 0,66$ мм/год)
40—60%-ный, содержащий 1—4% HCOOH и 1—3% H_2SO_4	135	Стали X18H10T ($\Pi = 0,61$ мм/год), X17H13M2T ($\Pi = 0,43$ мм/год); свинец С4
	105	Сталь X17H13M2T ($\Pi = 0,66$ мм/год); свинец С4
Пары в процессе конденсации формальдегида	65	Стали X18H10T, X17H13M2T, X17H13M3T
Разбавленные растворы	≤ 60	Полиизобутилен ПСГ
	≤ 40	Винипласт, полиэтилен, текстолит
Фосген $COCl_2$		
Жидкий (безводный)	—	Сталь X17H13M2T

Продолжение

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
100 (жидкий)	≤ 250	Паронит (прокладочный материал)
100 (газ и жидкость)	≤ 200	Фторопласт-4
Фосфор P		
—	≤ 95	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, X18H10T, X17H13M2T
100	20	Винипласт
Фосфор желтый	≤ 80	Сталь X18H10T
Фосфорная кислота H_3PO_4		
Любая	$20-t_{\text{кип}}$	Базальт плавный, графит и уголь формованные; диабаз плавный; фторопласт-4
	≤ 70	Резины для гуммирования марок 1976-M, 2566, 4849, 4476 и эбониты марок 1751, 2169, 1726
	≤ 50	Стали X25T, X28, X28AN, X28H4; текстолит
	20	Ферросилиды C15, C17
Любая (дымящаяся)	≤ 70	Стали X25T, 20X25TЛ, X28, 75X28Л, X28AN
1—80	20	Стали X18H10T, X17H13M2T, X17H13M3T
1—45	$t_{\text{кип}}$	Стали X17H13M2T, X17H13M3T
1	20	Сталь 0X13, 1X13, 2X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T; алюминий А0; титан BT1-0, BT1-1

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
1	$t_{\text{кип}}$	Стали X18H10T, 0X21H5T, 0X21H6M2T, X17 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 0X17T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 1X17H2 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), X25T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), X28 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
	≤ 140	Стали X17H13M2T, 0X18H10T ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
	60—70	Алюминий А0 ($\Pi < 0,12 \text{ мм/год}$)
5	20—85	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T
	60—70	Алюминий А0 ($\Pi < 0,62 \text{ мм/год}$)
	35	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
	20	Алюминий А0 ($\Pi = 0,26 \text{ мм/год}$)
10—85	$\leq 40; 70$	Сталь X25T
10—40	$t_{\text{кип}}$	Сплавы 75X28Л, 185X34Л
10—20		Сталь X25T
10	$20-t_{\text{кип}}$	Стали 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T, X28 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$); ферросилид C15, сплав МФ-15
	20	Сталь X14Г14Н3Т; титан BT1-0, BT1-1
	35	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
≤ 20	$20-t_{\text{кип}}$	Стали 0X17T, X17
	20	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
20	35	

Продолжение

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы	
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$		
20	20	Титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1; алюминий А0 ($\Pi=0,9 \text{ мм/год}$)	
25	20—85	Стали 1Х21Н5Т, 0Х21Н5Т, 0Х21Н6М2Т, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т	
	95	Медь М1 ($\Pi=0,43 \text{ мм/год}$)	
	80	Сплав хастеллой С ($\Pi=0,17 \text{ мм/год}$)	
>25	50—60	Асбест (прокладочный материал)	
≤ 30	≤ 40	Винипласт	
>30	≤ 60		
30	≤ 100	Стали 1Х21Н5Т, 0Х21Н5Т, 0Х21Н6М2Т, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т	
40—концентрированная	20	Медь М1; бронза Бр. А7	
40	50	Стали 0Х21Н5Т, 0Х21Н6М2Т, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т	
	100	Стали 0Х21Н6М2Т, Х17Н13М2Т, Х18Н10Т ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)	
	$t_{кип}$		Сталь Х17Н13М2Т ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$); ферросилид С15 ($\Pi=0,13 \text{ мм/год}$); латунь ЛС59-1 ($\Pi=0,48 \text{ мм/год}$)
			Стали Х28, Х18Н10Т ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
			Сплав хастеллой В
			Сплав хастеллой С
45		Сталь 0Х23Н28М3Д3Т	
50—85		Стали Х17Н13М2Т, 0Х21Н6М2Т	

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
50	≤ 100	Фаолит
	≤ 85	Стали 0Х21Н5Т, 0Х21Н6М2Т, Х18Н10Т
	85	Стали Х25Т ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$); Х28 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
	≤ 50	Стали Х25, Х28
≤ 55	$20 - t_{кип}$	Сталь 1Х17Н2
55	≤ 85	Стали Х17, 0Х17Т
	$t_{кип}$	Сталь Х25Т ($\Pi=0,18 \text{ мм/год}$)
60	20	Сталь Х28
	$t_{кип}$	Сталь Х28 ($\Pi=0,38 \text{ мм/год}$)
65	20	Стали Х25Т, Х28, 0Х21Н5Т, 0Х21Н6М2Т, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т
	80	Стали 0Х21Н5Т, 0Х21Н6М2Т, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т
	180	Стали 1Х21Н5Т, 0Х21Н5Т, 0Х21Н6М2Т
70	$t_{кип}$	Сталь 0Х21Н6М2Т ($\Pi=0,15 \text{ мм/год}$)
75	≤ 25	Фаолит
77	≤ 100	Стали 0Х21Н5Т, 0Х21Н6М2Т
80—85	20	Сплав хастеллой В
80	$120 - t_{кип}$	Ферросилид С15 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
	110	Ферросилид С15 ($\Pi=0,11 \text{ мм/год}$)

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ C$	
80	60	Стали X18H10T, X17H13M2T, X17H13M3T
	20	Стали X28, X17 ($\Pi < 0,1$ мм/год); латунь ЛС59-1
	$t_{кип}$	Медь М1 ($\Pi = 0,5$ мм/год), латунь ЛС59-1 ($\Pi = 0,8$ мм/год)
≤ 85	$20 - t_{кип}$	Антегмиты АТМ-1, АТМ-1Г, АТМ-10
	≤ 100	Полиизобутилен ПСГ
85	$20 - t_{кип}$	Графит, пропитанный фенолформальдегидной смолой
	$t_{кип}$	Сплав хастеллой В
	≤ 95	Медь М1 ($\Pi = 0,12$ мм/год)
	≤ 90	Цемент серный
	≤ 85	Сталь 1X17H2
	≤ 70	Резина ИРП-1225, ИРП-1257, ИРП-1259
	≤ 65	Стали X17, 0X17T
	≤ 50	Стали 0X13, 1X13, X25T, X28, X18H10T, X17H13M2T; фаолит
	20	Стали 0X21H5T, 0X21H6M2T
90	80	Сталь X18H10T ($\Pi < 1,0$ мм/год)
	20	Стали 0X13, 1X13, 2X13, X17, 0X17H2, X25T, X28, 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T
100	≤ 60	Пластикат полихлорвиниловый (прокладочный материал)

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ C$	
Концентрированная кислота	$20 - t_{кип}$	Картон асбестовый (прокладочный материал)
	$t_{кип}$	Ферросилид С15 ($\Pi = 0,6$ мм/год); медь М1 ($\Pi = 1,13$ мм/год); бронза Бр.А7 ($\Pi = 0,1$ мм/год)
	200	Сплав хастеллой В ($\Pi = 0,25$ мм/год)
	180	Сплав хастеллой В ($\Pi = 0,15$ мм/год)
	≤ 140	Стали 0X21H6M2T, X17H13M2T, 0X23H28M3Д3T
	≤ 120	Стали 0X21H5T, X28АН, X18H10T
	≤ 100	Сплав хастеллой В; паронит УВ-10 (прокладочный материал)
	≤ 90	Бронза Бр. АЖ9-4
	80	Сплав хастеллой С ($\Pi = 0,26$ мм/год)
	≤ 60	Медь М3, М3р; монель НМЖМц 28-2,5-1,5
Разбавленные растворы	20	Латунь ЛС59-1; свинец С1 ($\Pi = 0,21$ мм/год)
	От -30 до +100	Картон асбестовый; паронит Резина кислотоустойчивая марок 6290 ЛРТИ, 4999, 5145
Фосфорный ангидрид P_2O_5		
Сухой и влажный	20	Стали 0X13, 1X13, 2X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25, X28, X14Г14Н3Т, X18H10T, 0X18H12Б, X17H13M2T, X17H13M3T
Безводный	—	Алюминиевый сплав АД00 (незначительная коррозия)

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
(32—50)%-ный, содержащий фтористые соединения	—	Сталь 0Х23Н28М3ДЗТ
100	20	Винипласт, полиэтилен ПСГ
Фтористоводородная (плавиковая) кислота HF		
5	20—65	Монель НМЖМц 28-2,5-1,5
	10—100	Сталь 0Х23Н28М3ДЗТ ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$); сплавы хастеллой В, хастеллой С
		Латунь Л62
		Никель НП2 ($\Pi < 0,45 \text{ мм/год}$)
		Медь М1 ($\Pi < 0,25 \text{ мм/год}$), М2 ($\Pi < 0,25 \text{ мм/год}$)
10	20	Стали Х17Н13М2Т, 0Х23Н28М3ДЗТ, Х18Н10Т ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)—у всех сталей—точечная коррозия
		10—30	Монель НМЖМц 28-2,5-1,5
	31—60	Монель НМЖМц 28-2,5-1,5 ($\Pi < 0,2 \text{ мм/год}$)
25	20	Сталь 0Х23Н28М3ДЗТ ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$); сплавы хастеллой В ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), хастеллой С ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
		≤ 40	40	Винипласт
45	20	Сплавы хастеллой В, хастеллой С
48	≤ 120	Монель НМЖМц 28-2,5-1,5

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
≤ 48	20— $t_{кип}$	Антемиты АТМ-1, АТМ-1Г, АТМ-10; графит, пропитанный фенолформальдегидной смолой
≤ 50	≤ 65	Резины для гуммирования марок 829, 1976-М, 2566, 4476, 4849
	≤ 50	Эбонит марки 1726
	≤ 40	Эбонит марки 6024
50	20	Монель НМЖМц 28-2,5-1,5
	≤ 65	Резина кислотоустойчивая марок 6290 ЛРТИ, 4999, 5145
60	85	Графит, пропитанный фенолформальдегидной смолой
≤ 60	20	Полиизобутилен ПСГ
60	≤ 38	Пластикат полихлорвиниловый
70	≤ 120	Монель НМЖМц 28-2,5-1,5 ($\Pi < 0,45 \text{ мм/год}$)
	≤ 40	Монель НМЖМц 28-2,5-1,5
≤ 80	20	Графит и уголь, пропитанные фенольными смолами
93		Стали 10 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 20 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
98	≤ 100	Монель НМЖМц 28-2,5-1,5
	≤ 50	Стали 10 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$), 20 ($\Pi < 1,0 \text{ мм/год}$)
100	≤ 60	

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
Безводный HF (жидкий и газообразный)	≤ 30	Стали ВМСт.Зсп, 10, 20, 20К, 25, 30, 35, 40, 16ГС (ЗН), 09Г2С (М); фторопласт-4
	50	Для тех же марок углеродистых и низколегированных сталей ($\Pi=0,5$ мм/год)
Безводный HF	≤ 400	Графит и уголь формованные
	≤ 200	Фторопласт-4
Жидкий HF, содержащий 0,5—3% H_2O	≤ 15	Алюминиевый сплав АД00 ($\Pi < 0,28$ мм/год); медь М1 ($\Pi < 0,28$ мм/год), М2 ($\Pi < 0,28$ мм/год); стали 2Х13 ($\Pi < 0,34$ мм/год), Х17 ($\Pi < 0,34$ мм/год), Х18Н10Т ($\Pi < 0,5$ мм/год); латунь Л62 ($\Pi < 0,38$ мм/год)
	≤ 400	Монель НМЖМц 28-2,5-1,5 ($\Pi < 0,2$ мм/год); латунь Л62 ($\Pi < 1,0$ мм/год)
Газообразный HF, содержащий 0,5—3% H_2O	≤ 300	Стали 2Х13 ($\Pi < 2,0$ мм/год), Х17 ($\Pi < 2,0$ мм/год); алюминиевый сплав АД00 ($\Pi < 0,8$ мм/год)
	60—300	Медь М1 ($\Pi < 1,0$ мм/год), М2 ($\Pi < 1,0$ мм/год)
	≤ 150	Сталь Х18Н10Т ($\Pi < 0,1$ мм/год)
	≤ 60	Полиэтилен
Концентрированная плавиковая кислота	≤ 60	Полиэтилен
	20	Полистирол
100 (сухой газ)	100	Сплав хастеллой С

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
Фурфурол $\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2$		
Концентрированные растворы	$t_{кип}$	Стали 0Х13, 1Х13, Х17, 0Х17Т, 1Х17Н2, Х25Т, Х28, 0Х21Н6М2Т, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т
Пары	—	Стали 0Х13, 1Х13, Х17, 0Х17Т, 1Х17Н2, 0Х21Н6М2Т, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т
94—100	30—40	Паронит (прокладочный материал)
Хлор Cl_2		
100 (сухой газ)	Любая	Графит и уголь формованные
	≤ 800	Замаски кислотоупорные (о. с.)
	≤ 500	Ферросилиды С15, С17; никель НП2 ($\Pi < 1,0$ мм/год); стекло кварцевое
	≤ 300	Алюминий А95, А85, А8; сталь Х17Н13М2Т ($\Pi < 1,0$ мм/год)
	≤ 200	Сталь Х18Н10Т ($\Pi < 1,0$ мм/год); фторопласт-4
	≤ 120	Стали 10 и 20 ($\Pi < 1,0$ мм/год)
	≤ 110	Паронит (прокладочный материал)
	≤ 40	Стали ВМСт.Зсп, 10, 20, 20К; полиизобутилен ПСГ (о. с.); винипласт
	20	Стали 1Х13, 2Х13, 3Х13, Х17, 1Х17Н2, Х18Н10Т, 0Х18Н12Б, Х17Н13М2Т; свинец С4; резины для гуммирования марок 829, 1976-М, 2566, 4476; керамика кислотоупорная (о. с.)
	От -10 до +50	Пластикат полихлорвиниловый

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
C_c , %	t_c , °C	
100 (сухой и влажный газы)	≤ 90	Асбовинил с антофилитасбестом
	≤ 70	Эбонит марки 2169
	≤ 60	Фаолит
100 (влажный газ)	≤ 100	Сплав хастеллой С; стекло кварцевое
	≤ 97	Титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1
	≤ 85	Резина техническая (прокладочный материал)
100 (жидкий)	—	Стали ВМСт.Зсп, 10, 20, 20К; фаолит
	40	Полиизобутилен ПСГ
	20	Свинец С1, С2, С3, С4
Влажный газ, содержащий гипохлорит кальция	72	Сплав хастеллой С; титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1
Хлор + конденсат + органические вещества	87—100	Сплав хастеллой С
	80	Сплав хастеллой С ($\Pi=0,17$ мм/год)
Влажный газ, содержащий твердые органические вещества	77—97	Титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1
Вода, насыщенная хлором	20	Сталь Х17Н13М2Т ($\Pi < 1,0$ мм/год); титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1
Любая (сухой и влажный газы и жидкий хлор)	≤ 500	Картон асбестовый кислотостойкий (прокладочный материал)
	≤ 375	Паронит (прокладочный материал)
	≤ 30	Фибра (прокладочный материал)
Хлористый бензол C_6H_5Cl		
Чистый	$20-t_{кип}$	Сталь Х18Н10Т; антегмиты АТМ-1 АТМ-1Г, АТМ-10
—	≤ 180	Паронит (прокладочный материал)

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
C_c , %	t_c , °C	
Хлористый водород HCl		
100 (сухой газ)	≤ 500	Ферросилиды С15, С17
	100	Стали Х18Н10Т ($\Pi < 1,0$ мм/год), 0Х18Н12Б ($\Pi < 1,0$ мм/год), Х17Н13М2Т ($\Pi < 1,0$ мм/год); антегмиты АТМ-1, АТМ-1Г, АТМ-10 Сплав МФ-15 ($\Pi < 1,0$ мм/год)
	≤ 60	Винипласт
	20	Алюминиевые сплавы АД00, АД0, АД1, АД (незначительная коррозия); полиэтилен
	30—40	30	Полиэтилен
50	≤ 60	Винипласт
Хлористый метил CH_3Cl		
—	$t_{кип}$	Стали 0Х13, 1Х13, Х17, 0Х17Т, 1Х17Н2, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т
Хлористый этил C_2H_5Cl		
100 (сухой)	$20-t_{кип}$	Стали 0Х13, 1Х13, Х17, 0Х17Т, 1Х17Н2, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т
	20	Стали Х25Т, Х28
Хлороформ $CHCl_3$		
Чистый	$20-t_{кип}$	Стали 0Х13, 1Х13, Х18Н10Т; алюминий А0
	$< t_{кип}$	Графит, пропитанный фенолформальдегидной смолой
	20	Стали Х17, 0Х17Т, 1Х17Н2, Х25Т, Х28
Влажный	$t_{кип}$	Никель Н1

Продолжение

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
100 (влажный)	$t_{кип}$	Свинец СЗ; сталь ВМСт.Зсп ($\Pi < 1,4$ мм/год)
	30	Сталь 20 ($\Pi = 0,2$ мм/год)
	20	Сталь ВМСт.Зсп; алюми- ниевые сплавы АД00, АД0, АД1, АД; латунь ЛС59-1
Чистый + 0,67 г/л H_2O	76—78	Стали ВМСт.Зсп, 2Х13, Х17Н13М3Т; медь М1; латунь Л62
Чистый + 1,16 г/л H_2O		Стали ВМСт.Зсп, 2Х13; медь М1; латунь Л62
Чистый + 0,99 г/л H_2O	20—25	Стали ВМСт.Зсп, 2Х13, Х17Н13М3Т; медь М1
Чистый + 1,77 г/л H_2O	40	Стали ВМСт.Зсп ($\Pi = 0,96$ мм/год), 2Х13, Х17Н13М3Т; медь М1
Чистый	$t_{кип}$	Сплав МФ-15 (анти- хлор)
Целлюлоза		
В процессе варки	—	Стали Х14Г14Н3Т, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т, 0Х13 ($\Pi < 1,0$ мм/год), 1Х13 ($\Pi < 1,0$ мм/год), Х17 ($\Pi < 1,0$ мм/год), 0Х17Т ($\Pi < 1,0$ мм/год), 1Х17Н2 ($\Pi < 1,0$ мм/год)
Любая	≤ 200	Фторопласт-4
Цинк хлористый ZnCl_2		
Любая	≤ 200	Фторопласт-4
1	≤ 75	Алюминиевые сплавы АД00, АД0, АД1, АД
5	20	Те же сплавы ($\Pi = 0,47$ мм/год)
	75	

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
10	20	Алюминий А0, АЛ2
5; 10; 20	$t_{кип}$	Титан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1
20; 50; 75			150
68	$t_{кип}$	Сплавы хастеллой В, хастеллой С
75	200	Титан ВТ1-0 ($\Pi < 1,3$ мм/год)
78, содержащий 18% FeCl_3	$t_{выпар}$	Ферросилид С15; медь М1 ($\Pi = 0,28$ мм/год)
	$t_{кип}$	Ферросилид С15; медь М1; сталь Х18Н10Т ($\Pi = 0,17$ мм/год); латунь ЛМц 58-2 ($\Pi = 0,37$ мм/год)
94, содержащий 0,2% SO_4	20	Стали 1Х13, 2Х13, Х17, Х18Н10Т; ферроси- лид С15; медь М1; алюми- ниевый сплав АД00 ($\Pi = 0,44$ мм/год)
		Стали 1Х13, 2Х13, Х17; ферросилид С15; латунь ЛМц 58-2 ($\Pi = 0,12$ мм/год); алюми- ниевые сплавы АД00, АД0, АД1, АД
Раствор пл. 1,2		Стали Х18Н10Т, 0Х18Н12Б, Х17Н13М2Т, Х17Н13М3Т, 1Х13 ($\Pi < 1,0$ мм/год), 2Х13 ($\Pi < 1,0$ мм/год)
Раствор пл. 1,9	20	Сталь Х18Н10Т; ти- тан ВТ1-0, ВТ1-00, ВТ1-1
Раствор пл. 2,05	35	Ферросилид С15; сплав МФ-15 (антихлор)
	20	Сталь Х18Н10Т
Водный насыщенный раствор	20— $t_{кип}$	Сталь Х14Г14Н3Т ($\Pi < 1,0$ мм/год) — то- чечная коррозия
	20	Стали Х25Т ($\Pi < 1,0$ мм/год), Х28 ($\Pi < 1$ мм/год), Х17Н13М2Т ($\Pi < 1,0$ мм/год) у всех сталей точечная корро- зия

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
C_c , %	t_c , °C	
Раствор, насыщенный на холоде	≤ 100	Полиизобутилен ПСГ
	≤ 60	Винипласт
	50	Ферросилид С15 ($\Pi < 1,0$ мм/год)
Разбавленный раствор	≤ 60	Полиизобутилен ПСГ
	≤ 40	Винипласт
Щавелевая кислота $H_2C_2O_4$		
Любая	$20 - t_{кип}$	Замазки кислотоупорные; графит и уголь формованные; фаолит
	$< t_{кип}$	Базальт плавный, диабаз плавный, графит, пропитанный фенолформальдегидной смолой, керамика кислотоупорная, стекло известково-натриевое, фарфор кислотоупорный
	≤ 200	Фторопласт-4
	≤ 100	Антегмиты АТМ-1, АТМ-1Г, АТМ-10
	≤ 50	Текстолит
Любая	≤ 40	Пластикат полихлорвиниловый
	≤ 25	Эмаль кислотоупорная
0,4—0,5	≤ 80	Алюминий А0
0,5	20	Стали X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T
0,5—2,5	70—80	Алюминиевый сплав АД00 ($\Pi < 0,5$ мм/год)

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы	
C_c , %	t_c , °C		
0,5—3,0	20	Стали X17, X28	
0,5—10		Алюминиевый сплав АД00 ($\Pi < 0,14$ мм/год)	
0,5; 1,0 (азрированный)	35—100	Сталь 0X23H28M3ДЗТ	
	35	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1	
1—10	≤ 40	Стали X18H10T, 0X18H10T, 0X18H12B	
2	70—80	Алюминий А0 ($\Pi = 0,46$ мм/год)	
	20	Алюминий А0 ($\Pi = 0,116$ мм/год), АЛ2 ($\Pi = 0,35$ мм/год)	
2,5	$20 - t_{кип}$	Сталь X17H13M2T	
	≤ 60	Стали 1X21H5T, 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17 ($\Pi < 1,0$ мм/год), 0X17T ($\Pi < 1,0$ мм/год), 1X17H2 ($\Pi < 1,0$ мм/год), X28 ($\Pi < 1,0$ мм/год)	
	20	Стали X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28	
2—10	≤ 60	Стали X18H10T ($\Pi < 1,0$ мм/год), 0X18H10T ($\Pi < 1,0$ мм/год), 0X18H12B ($\Pi < 1,0$ мм/год)	
≤ 3	≤ 60	Стали X28, X28AH, X28H4	
3—10		Стали X17 ($\Pi < 1,0$ мм/год), X28 ($\Pi < 1,0$ мм/год)	
5	20	Сталь X25T	
5		85	Стали 0X21H6M2T, X17H13M2T
		70—80	Алюминий А0 ($\Pi = 1,05$ мм/год)
5	20	Стали 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T, X17 ($\Pi < 1,0$ мм/год), 0X17T ($\Pi < 1,0$ мм/год), 1X17H2 ($\Pi < 1,0$ мм/год), X25T ($\Pi < 1,0$ мм/год), X28 ($\Pi < 1,0$ мм/год); алюминий А0 ($\Pi = 0,14$ мм/год)	

Продолжение

Продолжение

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
5 (аэрированная)	100	Сталь 0X23H28M3ДЗТ ($\Pi < 0,14$ мм/год)
	35—60	Сталь 0X23H28M3ДЗТ
	35	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
≤ 6	≤ 80	Сталь X17H13M2T
6—10	≤ 30	Сталь X17H13M2T
10—80	≤ 80	Сталь X17H13M2T ($\Pi < 1,0$ мм/год)
10—50	$20 - t_{кип}$	Сплавы хастеллой В, хастеллой С
	20	Сталь 0X21H6M2T
10	$t_{кип}$	Сталь 0X21H6M2T ($\Pi = 1+3$ мм/год)
	100	Сталь 0X23H28M3ДЗТ ($\Pi = 0,92$ мм/год)
	≤ 60	Сталь 0X23H28M3ДЗТ
	≤ 50	Стали 0X21H6M2T, X17H13M2T
	≤ 35	Титан BT1-0, BT1-00, BT1-1
10	20	Стали 1X21H5T, 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T, X17H13M2T, 1X13 ($\Pi < 1,0$ мм/год), 2X13 ($\Pi < 1,0$ мм/год), X17 ($\Pi < 1,0$ мм/год), 0X17T ($\Pi < 1,0$ мм/год), 1X17H2 ($\Pi < 1,0$ мм/год), X28 ($\Pi < 1,0$ мм/год); алюминий А0 ($\Pi = 0,13$ мм/год)

Среда		Рекомендуемые материалы
$C_c, \%$	$t_c, ^\circ\text{C}$	
≤ 20	От -30 до $+100$	Резина кислотощелочная марок 6290 ЛРТИ, 4999, 5145
50	$t_{кип}$	Сталь X17H13M2T ($\Pi < 1,0$ мм/год)
Разбавленные водные растворы	≤ 60	Полиизобутилен ПСГ
	≤ 40	Винипласт
Растворы, насыщенные на холоде	≤ 100	Полиизобутилен ПСГ
	100	Никель Н1 ($\Pi < 1,0$ мм/год)
	≤ 60	Винипласт
	20	Алюминиевые сплавы АД00, АД0, АД1, АД
Этиловый эфир $C_4H_{10}O$		
Любая	$< t_{кип}$	Графит, пропитанный фенолформальдегидной смолой
—	20	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28, 0X21H5T, 0X21H6M2T, X18H10T
100	$t_{кип}$	Фторопласт-4
	40	Полиэтилен
Яблочная кислота $C_4H_6O_6$		
Любая	≤ 200	Фторопласт-4
	≤ 100	Фторопласт-3
10	20	Винипласт
—	$20 - t_{кип}$	Стали X18H10T, X17H13M2T
	20	Стали 0X13, 1X13, X17, 0X17T, 1X17H2, X25T, X28

СВАРКА, ПАЙКА И СКЛЕИВАНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ХИМИЧЕСКОМ АППАРАТОСТРОЕНИИ

Г Л А В А 10

СВАРКА ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

На сварку листовых конструкций из углеродистой, низколегированной, высоколегированной коррозионно-стойкой и двухслойной сталей, алюминия и его сплавов, меди, латуни, никеля и титана и его сплавов в химическом аппаратостроении распространяется отраслевая норма ОН 26-01-71—68. Нормалью регламентируются конструктивные элементы подготовки кромок листового металла для различных типов сварных соединений, технология различных способов сварки и рекомендуются для соответствующих металлов и способов их сварки присадочные материалы (электроды, сварочная проволока, флюсы, инертные газы и пр.). Ниже приводятся заимствованные из этой нормы рекомендации по конструктивным элементам подготовки кромок листового металла и труб для различных типов сварных соединений узлов и деталей химической аппаратуры. Рекомендуемые нормалью присадочные материалы приведены в соответствующих таблицах гл. 6.

При изготовлении стальной химической аппаратуры применяются следующие сварочные процессы:

- 1) автоматическая и полуавтоматическая сварка под слоем флюса;
- 2) ручная электродуговая сварка;
- 3) электрошлаковая сварка;
- 4) автоматическая и полуавтоматическая сварка в среде углекислого газа;
- 5) автоматическая, ручная и механизированная аргоно-дуговая сварка;
- 6) газовая (ацетиленовая) сварка.

Автоматическая и полуавтоматическая сварка под слоем флюса являются в настоящее время основными способами сварки химической аппаратуры, изготавливаемой из углеродистой, низколегированной, легированной и высоколегированной сталей.

По сравнению с ручной электродуговой сваркой автоматическая сварка под слоем флюса обладает рядом существенных преимуществ, основными из которых являются:

- 1) более высокая производительность сварочного процесса, превышающая примерно в 4—5 раз производительность ручной электродуговой сварки;
- 2) более высокое качество сварных соединений;
- 3) возможность осуществления сварки без скоса кромок свариваемых деталей, что значительно упрощает заготовительные операции, обеспечивает экономию присадочных материалов и снижает стоимость изготовления аппаратуры.

Полуавтоматическая сварка сталей под слоем флюса сходна с автоматической и отличается от нее лишь тем, что перемещение дуги вдоль шва производится вручную.

По сравнению с автоматической полуавтоматическая сварка имеет ряд преимуществ:

- 1) благодаря высокой проходимости и маневренности полуавтоматов представляется возможным выполнять сварку в местах, недоступных для автоматической сварки;
- 2) возможность выполнения стыковой сварки листов малых толщин (2—3 мм) и угловых швов с катетом 3—4 мм, что недоступно или затруднительно для автоматической сварки;

3) более низкая стоимость сварочных работ благодаря пониженному расходу электроэнергии (примерно на 30—40%) и расходу сварочной проволоки (примерно на 15—20%) по сравнению с автоматической сваркой.

Ручная электродуговая сварка сталей в настоящее время находит еще достаточно широкое применение при изготовлении химической аппаратуры. Этот метод сварки применяют преимущественно при изготовлении трубных узлов аппаратуры, при приварке гарнитуры, внутренних устройств аппаратов, опорных конструкций и при сварке различного рода металлоконструкций, комплектующих химическую аппаратуру.

Ручную электродуговую сварку применяют также и для выполнения основных прямолинейных и кольцевых швов корпусов аппаратов в случаях, когда применение автоматической сварки невозможно по конструктивным или технологическим соображениям.

Электрошлаковая сварка находит широкое применение в химическом аппаратостроении при изготовлении толстостенной аппаратуры высокого давления, крупногабаритных фланцев стальной аппаратуры и других деталей, имеющих большую исходную толщину.

В последнее время в химическом аппаратостроении широко применяется автоматическая и полуавтоматическая сварка малоуглеродистой, низколегированной и высоколегированной сталей в среде углекислого газа плавящимся электродом, обеспечивающая высокое качество сварных соединений. Особенно хорошие результаты достигаются при сварке указанным методом низколегированных сталей марок 16ГС(ЗН) и 09Г2С(М).

Автоматическая, ручная и механизированная аргоно-дуговая сварка применяется преимущественно при изготовлении аппаратуры из высоколегированных сталей.

СВАРКА, ПАЙКА И СКЛЕИВАНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ХИМИЧЕСКОМ АППАРАТОСТРОЕНИИ

Г Л А В А 10

СВАРКА ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

На сварку листовых конструкций из углеродистой, низколегированной, высоколегированной коррозионно-стойкой и двухслойной сталей, алюминия и его сплавов, меди, латуни, никеля и титана и его сплавов в химическом аппаратостроении распространяется отраслевая нормаль ОН 26-01-71—68. Нормалью регламентируются конструктивные элементы подготовки кромок листового металла для различных типов сварных соединений, технология различных способов сварки и рекомендуются для соответствующих металлов и способов их сварки присадочные материалы (электроды, сварочная проволока, флюсы, инертные газы и пр.). Ниже приводятся заимствованные из этой нормали рекомендации по конструктивным элементам подготовки кромок листового металла и труб для различных типов сварных соединений узлов и деталей химической аппаратуры. Рекомендуемые нормалью присадочные материалы приведены в соответствующих таблицах гл. 6.

При изготовлении стальной химической аппаратуры применяются следующие сварочные процессы:

- 1) автоматическая и полуавтоматическая сварка под слоем флюса;
- 2) ручная электродуговая сварка;
- 3) электрошлаковая сварка;
- 4) автоматическая и полуавтоматическая сварка в среде углекислого газа;
- 5) автоматическая, ручная и механизированная аргоно-дуговая сварка;
- 6) газовая (ацетиленовая) сварка.

Автоматическая и полуавтоматическая сварка под слоем флюса являются в настоящее время основными способами сварки химической аппаратуры, изготавливаемой из углеродистой, низколегированной, легированной и высоколегированной сталей.

По сравнению с ручной электродуговой сваркой автоматическая сварка под слоем флюса обладает рядом существенных преимуществ, основными из которых являются:

- 1) более высокая производительность сварочного процесса, превышающая примерно в 4—5 раз производительность ручной электродуговой сварки;
- 2) более высокое качество сварных соединений;
- 3) возможность осуществления сварки без скола кромок свариваемых деталей, что значительно упрощает заготовительные операции, обеспечивает экономию присадочных материалов и снижает стоимость изготовления аппаратуры.

Полуавтоматическая сварка сталей под слоем флюса сходна с автоматической и отличается от нее лишь тем, что перемещение дуги вдоль шва производится вручную.

По сравнению с автоматической полуавтоматическая сварка имеет ряд преимуществ:

- 1) благодаря высокой проходимости и маневренности полуавтоматов представляется возможным выполнять сварку в местах, недоступных для автоматической сварки;
- 2) возможность выполнения стыковой сварки листов малых толщин (2—3 мм) и угловых швов с катетом 3—4 мм, что недоступно или затруднительно для автоматической сварки;
- 3) более низкая стоимость сварочных работ благодаря пониженному расходу электроэнергии (примерно на 30—40%) и расходу сварочной проволоки (примерно на 15—20%) по сравнению с автоматической сваркой.

Ручная электродуговая сварка сталей в настоящее время находит еще достаточно широкое применение при изготовлении химической аппаратуры. Этот метод сварки применяют преимущественно при изготовлении трубных узлов аппаратуры, при приварке гарантии, внутренних устройств аппаратов, опорных конструкций и при сварке различного рода металлоконструкций, комплектующих химическую аппаратуру.

Ручную электродуговую сварку применяют также и для выполнения основных прямолинейных и кольцевых швов корпусов аппаратов в случаях, когда применение автоматической сварки невозможно по конструктивным или технологическим соображениям.

Электрошлаковая сварка находит широкое применение в химическом аппаратостроении при изготовлении толстостенной аппаратуры высокого давления, крупногабаритных фланцев стальной аппаратуры и других деталей, имеющих большую исходную толщину.

В последнее время в химическом аппаратостроении широко применяется автоматическая и полуавтоматическая сварка малоуглеродистой, низколегированной и высоколегированной сталей в среде углекислого газа плавящимся электродом, обеспечивающая высокое качество сварных соединений. Особенно хорошие результаты достигаются при сварке указанным методом низколегированных сталей марок 16ГС(ЗН) и 09Г2С(М).

Автоматическая, ручная и механизированная аргоно-дуговая сварка применяется преимущественно при изготовлении аппаратуры из высоколегированных сталей.

Ручную и механизированную аргоно-дуговую сварку часто применяют при соединении трубок с трубными решетками теплообменных аппаратов.

Газовая (ацетиленовая) сварка сталей применяется в химическом аппаратостроении ограниченно в силу присущих ей недостатков и прежде всего из-за значительного разогрева основного металла, что вызывает повышенную деформацию свариваемых узлов и способствует перегреву и росту зерна в сварном соединении. По сравнению с другими сварочными процессами газовая сварка является малопроизводительным и неэкономичным процессом. Она

применяется лишь при отсутствии источников тока и в других случаях, обусловленных конструктивными соображениями или технологией изготовления.

10.1. СВАРКА УГЛЕРОДИСТОЙ И НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛЕЙ

В табл. 10.1 приведены рекомендуемые типы сварных швов и способы их выполнения для аппаратов, изготавливаемых из углеродистой и низколегированной сталей.

Таблица 10.1

Рекомендуемые типы сварных швов и способы их выполнения для аппаратов, изготавливаемых из углеродистой и низколегированной сталей (по ОН 26-01-71—68 *)

Вид сварного соединения	Диаметр аппарата, мм	Толщина свариваемой стали, мм	Тип шва	Способ сварки
Стыковое листовое стали (плоские листы и карты)	—	≤ 2	Без скоса кромок, односторонний	Газовая
		2—4	Без скоса кромок, односторонний и двусторонний	Ручная электродуговая и автоматическая под слоем флюса
		≥ 5	Без скоса кромок, двусторонний	
Прямолинейное стыковое обечаек	≤ 400	2—10	Без скоса кромок, односторонний	Автоматическая под слоем флюса на флюсовой подушке
		8—24	V-образный со скосом двух кромок, односторонний	
	300—600	5—10	Без скоса кромок, односторонний на остающейся стальной подкладке	Автоматическая под слоем флюса
		8—30	V-образный со скосом двух кромок, односторонний на остающейся стальной подкладке	
	600—800	5—14	V-образный со скосом двух кромок (разделка с внутренней стороны аппарата), двусторонний	Автоматическая под слоем флюса с ручной подваркой шва со стороны скошенных кромок
		18—50	X-образный с двумя несимметричными скосами двух кромок, двусторонний	Автоматическая под слоем флюса с ручной подваркой шва со стороны разделки с меньшей глубиной
	600—3200	5—22	Без скоса кромок, двусторонний	Автоматическая под слоем флюса на флюсовой подушке
		24—50	X-образный с двумя симметричными скосами двух кромок, двусторонний	

Продолжение табл. 10.1

Вид сварного соединения	Диаметр аппарата, мм	Толщина свариваемой стали, мм	Тип шва	Способ сварки
Кольцевое стыковое осечеак и приварки днищ к обечайкам	300—600	5—10	Без скоса кромок, односторонний на остающейся стальной подкладке	Автоматическая под слоем флюса
		8—30	V-образный со скосом двух кромок, односторонний на остающейся стальной подкладке	
	600—1200	5—14	V-образный со скосом двух кромок (разделка с внутренней стороны аппарата)	Автоматическая под слоем флюса с ручной подваркой шва со стороны скошенных кромок
		18—50	X-образный с двумя несимметричными скосами двух кромок, двусторонний	Автоматическая под слоем флюса с ручной подваркой шва со стороны разделки с меньшей глубиной
	1200—3200	5—14	Без скоса кромок, двусторонний	Автоматическая под слоем флюса на флюсовой подушке
		24—50	X-образный с двумя симметричными скосами двух кромок, двусторонний	

* При составлении таблицы были также использованы рекомендации ведущих заводов химического машиностроения.

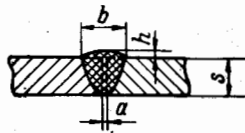
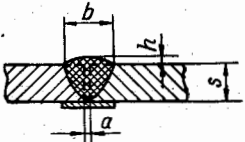
Ручная электродуговая сварка

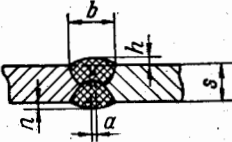

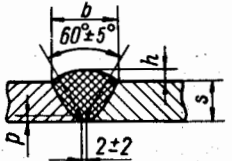

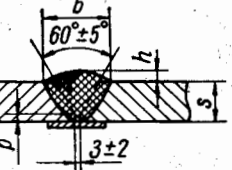

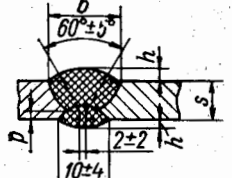

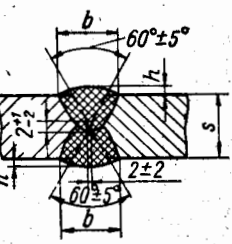

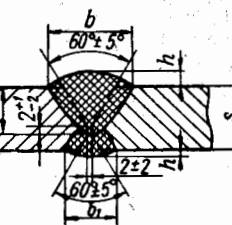

В табл. 10.2—10.5 приведены конструктивные элементы подготовки кромок листовой стали и размеры швов, выполняемых ручной электродуговой сваркой.

Рекомендуемые электроды для сварки углеродистой и низколегированной сталей различных марок приведены в табл. 6.2.

Таблица 10.2

Швы сварных стыковых соединений листовой стали, выполняемые ручной электродуговой сваркой (по ГОСТу 5264—58)

Тип шва	Эскиз	Обозначение на чертеже	Размеры, мм						
			s	1	1,5	2	2,5	3	4—6
Без скоса кромок, односторонний		I	a	0,5±0,5		1±1		2 ^{+2,0} _{-0,5}	
			b	5±2		6±2		9 ⁺⁴ ₋₂	
Без скоса кромок, односторонний с подкладкой		II	h	0 ^{+1,5}		0 ^{+2,5}		0 ⁺³	

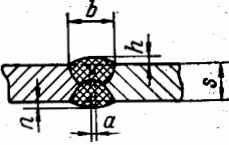
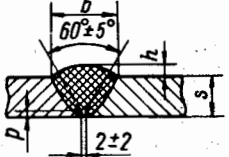
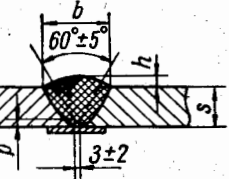
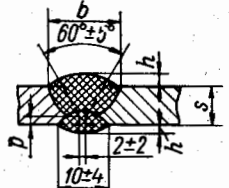
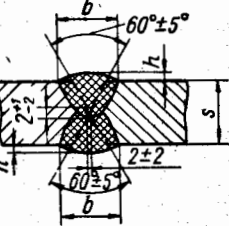
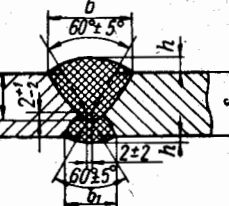
Тип шва	Эскиз	Обозначение на чертеже	Размеры, мм																												
Без скоса кромок, двусторонний			<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td colspan="2">6-8</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>$1^{+0,5}_{-1,0}$</td> <td colspan="2">$1,5^{+0,5}_{-1,0}$</td> <td colspan="2">$2^{+1,5}_{-1,0}$</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td colspan="2">8 ± 4</td> <td colspan="3">9^{+4}_{-2}</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td colspan="2">0^{+2}</td> <td colspan="3">0^{+3}</td> </tr> </table>					s	3	4	5	6-8		a	$1^{+0,5}_{-1,0}$	$1,5^{+0,5}_{-1,0}$		$2^{+1,5}_{-1,0}$		b	8 ± 4		9^{+4}_{-2}			h	0^{+2}		0^{+3}		
s	3	4	5	6-8																											
a	$1^{+0,5}_{-1,0}$	$1,5^{+0,5}_{-1,0}$		$2^{+1,5}_{-1,0}$																											
b	8 ± 4		9^{+4}_{-2}																												
h	0^{+2}		0^{+3}																												
V-образный со скосом двух кромок, односторонний																															
V-образный со скосом двух кромок, односторонний, с подкладкой			<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>3-8</td> <td>9-14</td> <td>15-21</td> <td colspan="2">22-26</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>$s+11$</td> <td>$s+13$</td> <td>$s+15$</td> <td colspan="2">$s+16$</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td colspan="2">0^{+3}</td> <td colspan="3">0^{+4}</td> </tr> <tr> <td>p</td> <td colspan="2">1 ± 1</td> <td colspan="3">2^{+1}_{-2}</td> </tr> </table>					s	3-8	9-14	15-21	22-26		b	$s+11$	$s+13$	$s+15$	$s+16$		h	0^{+3}		0^{+4}			p	1 ± 1		2^{+1}_{-2}		
s	3-8	9-14	15-21	22-26																											
b	$s+11$	$s+13$	$s+15$	$s+16$																											
h	0^{+3}		0^{+4}																												
p	1 ± 1		2^{+1}_{-2}																												
V-образный со скосом двух кромок, двусторонний																															
X-образный с двумя скосами двух кромок, двусторонний, симметричный			<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>12-17</td> <td>18-29</td> <td>30-41</td> <td>42-50</td> <td>51-60</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>$s+3$</td> <td>$s+1$</td> <td>$s-3$</td> <td>$s-8$</td> <td>$s-11$</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td colspan="2">0^{+3}</td> <td colspan="2">0^{+4}</td> <td>0^{+5}</td> </tr> </table>					s	12-17	18-29	30-41	42-50	51-60	b	$s+3$	$s+1$	$s-3$	$s-8$	$s-11$	h	0^{+3}		0^{+4}		0^{+5}						
s	12-17	18-29	30-41	42-50	51-60																										
b	$s+3$	$s+1$	$s-3$	$s-8$	$s-11$																										
h	0^{+3}		0^{+4}		0^{+5}																										
X-образный с двумя скосами двух кромок, двусторонний, несимметричный			<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>12-17</td> <td>18-25</td> <td>26-41</td> <td colspan="2">42-60</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td colspan="2">0^{+3}</td> <td colspan="2">0^{+4}</td> <td>0^{+5}</td> </tr> </table> <p>Размеры f, b и b_1 устанавливаются при конструировании</p>					s	12-17	18-25	26-41	42-60		h	0^{+3}		0^{+4}		0^{+5}												
s	12-17	18-25	26-41	42-60																											
h	0^{+3}		0^{+4}		0^{+5}																										

Тип шва	Эскиз	Обозначение на чертеже	Размеры, мм																								
V-образный с криволинейным скосом двух кромок, двусторонний		У	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>20—23</td> <td>24—29</td> <td>30—33</td> <td>34—41</td> <td>42—49</td> <td>50—55</td> <td>56—60</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>s+9</td> <td>s+7</td> <td>s+4</td> <td>s</td> <td>s-3</td> <td>s-7</td> <td>s-12</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td colspan="2">0+4</td> <td colspan="5">0+5</td> </tr> </table>	s	20—23	24—29	30—33	34—41	42—49	50—55	56—60	b	s+9	s+7	s+4	s	s-3	s-7	s-12	h	0+4		0+5				
s	20—23	24—29	30—33	34—41	42—49	50—55	56—60																				
b	s+9	s+7	s+4	s	s-3	s-7	s-12																				
h	0+4		0+5																								
X-образный с двумя криволинейными скосами двух кромок, двусторонний		Х	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>30—35</td> <td>36—41</td> <td>42—51</td> <td>52—60</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>s-3</td> <td>s-7</td> <td>s-12</td> <td>s-24</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td colspan="2">0+4</td> <td colspan="2">0+5</td> </tr> </table>	s	30—35	36—41	42—51	52—60	b	s-3	s-7	s-12	s-24	h	0+4		0+5										
s	30—35	36—41	42—51	52—60																							
b	s-3	s-7	s-12	s-24																							
h	0+4		0+5																								

Таблица 10.3

Швы сварных угловых соединений листовой стали, выполняемых ручной электродуговой сваркой (по ГОСТу 5264—58)

Тип шва	Эскиз	Обозначение на чертеже	Размеры, мм								
Без скоса кромок, односторонний		△	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>2—30</td> </tr> <tr> <td>s₁</td> <td>2—30</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>0,5s — s</td> </tr> <tr> <td>h₁</td> <td>3</td> </tr> </table>	s	2—30	s ₁	2—30	h	0,5s — s	h ₁	3
s	2—30										
s ₁	2—30										
h	0,5s — s										
h ₁	3										
Без скоса кромок, двусторонний		△	<table border="1"> <tr> <td>h₁</td> <td>3</td> </tr> </table> <p>Размер h₁ — ориентировочный</p>	h ₁	3						
h ₁	3										

Тип шва	Эскиз	Обозначение на чертеже	Размеры, мм																												
Без скоса кромок, двусторонний		II	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td colspan="2">6-8</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>$1^{+0,5}_{-1,0}$</td> <td colspan="2">$1,5^{+0,5}_{-1,0}$</td> <td colspan="2">$2^{+1,5}_{-1,0}$</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td colspan="2">8 ± 4</td> <td colspan="3">9^{+4}_{-2}</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>0^{+2}</td> <td colspan="4">0^{+3}</td> </tr> </table>					s	3	4	5	6-8		a	$1^{+0,5}_{-1,0}$	$1,5^{+0,5}_{-1,0}$		$2^{+1,5}_{-1,0}$		b	8 ± 4		9^{+4}_{-2}			h	0^{+2}	0^{+3}			
s	3	4	5	6-8																											
a	$1^{+0,5}_{-1,0}$	$1,5^{+0,5}_{-1,0}$		$2^{+1,5}_{-1,0}$																											
b	8 ± 4		9^{+4}_{-2}																												
h	0^{+2}	0^{+3}																													
V-образный со скосом двух кромок, односторонний		V	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>3-8</td> <td>9-14</td> <td>15-21</td> <td colspan="2">22-26</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>s^{+11}</td> <td>s^{+13}</td> <td>s^{+15}</td> <td colspan="2">s^{+16}</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>0^{+3}</td> <td colspan="4">0^{+4}</td> </tr> <tr> <td>p</td> <td>1 ± 1</td> <td colspan="4">2^{+1}_{-2}</td> </tr> </table>					s	3-8	9-14	15-21	22-26		b	s^{+11}	s^{+13}	s^{+15}	s^{+16}		h	0^{+3}	0^{+4}				p	1 ± 1	2^{+1}_{-2}			
s	3-8	9-14	15-21	22-26																											
b	s^{+11}	s^{+13}	s^{+15}	s^{+16}																											
h	0^{+3}	0^{+4}																													
p	1 ± 1	2^{+1}_{-2}																													
V-образный со скосом двух кромок, односторонний, с подкладкой		V	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>3-8</td> <td>9-14</td> <td>15-21</td> <td colspan="2">22-26</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>s^{+11}</td> <td>s^{+13}</td> <td>s^{+15}</td> <td colspan="2">s^{+16}</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>0^{+3}</td> <td colspan="4">0^{+4}</td> </tr> <tr> <td>p</td> <td>1 ± 1</td> <td colspan="4">2^{+1}_{-2}</td> </tr> </table>					s	3-8	9-14	15-21	22-26		b	s^{+11}	s^{+13}	s^{+15}	s^{+16}		h	0^{+3}	0^{+4}				p	1 ± 1	2^{+1}_{-2}			
s	3-8	9-14	15-21	22-26																											
b	s^{+11}	s^{+13}	s^{+15}	s^{+16}																											
h	0^{+3}	0^{+4}																													
p	1 ± 1	2^{+1}_{-2}																													
V-образный со скосом двух кромок, двусторонний		V	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>12-17</td> <td>18-29</td> <td>30-41</td> <td>42-50</td> <td>51-60</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>s^{+3}</td> <td>s^{+1}</td> <td>s_{-3}</td> <td>s_{-8}</td> <td>s_{-11}</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>0^{+3}</td> <td colspan="2">0^{+4}</td> <td colspan="2">0^{+5}</td> </tr> </table>					s	12-17	18-29	30-41	42-50	51-60	b	s^{+3}	s^{+1}	s_{-3}	s_{-8}	s_{-11}	h	0^{+3}	0^{+4}		0^{+5}							
s	12-17	18-29	30-41	42-50	51-60																										
b	s^{+3}	s^{+1}	s_{-3}	s_{-8}	s_{-11}																										
h	0^{+3}	0^{+4}		0^{+5}																											
X-образный с двумя скосами двух кромок, двусторонний, симметричный		X	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>12-17</td> <td>18-25</td> <td>26-41</td> <td colspan="2">42-60</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>0^{+3}</td> <td colspan="2">0^{+4}</td> <td colspan="2">0^{+5}</td> </tr> </table>					s	12-17	18-25	26-41	42-60		h	0^{+3}	0^{+4}		0^{+5}													
s	12-17	18-25	26-41	42-60																											
h	0^{+3}	0^{+4}		0^{+5}																											
X-образный с двумя скосами двух кромок, двусторонний, несимметричный		X	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>12-17</td> <td>18-25</td> <td>26-41</td> <td colspan="2">42-60</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>0^{+3}</td> <td colspan="2">0^{+4}</td> <td colspan="2">0^{+5}</td> </tr> </table> <p data-bbox="909 1665 1411 1712">Размеры f, b и b_1 устанавливаются при конструировании</p>					s	12-17	18-25	26-41	42-60		h	0^{+3}	0^{+4}		0^{+5}													
s	12-17	18-25	26-41	42-60																											
h	0^{+3}	0^{+4}		0^{+5}																											

Тип шва	Эскиз	Обозначение на чертеже	Размеры, мм																								
V-образный с криволинейным скосом двух кромок, двусторонний		У	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>20—23</td> <td>24—29</td> <td>30—33</td> <td>34—41</td> <td>42—49</td> <td>50—55</td> <td>56—60</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>s+9</td> <td>s+7</td> <td>s+4</td> <td>s</td> <td>s-3</td> <td>s-7</td> <td>s-12</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td colspan="2">0+4</td> <td colspan="5">0+5</td> </tr> </table>	s	20—23	24—29	30—33	34—41	42—49	50—55	56—60	b	s+9	s+7	s+4	s	s-3	s-7	s-12	h	0+4		0+5				
s	20—23	24—29	30—33	34—41	42—49	50—55	56—60																				
b	s+9	s+7	s+4	s	s-3	s-7	s-12																				
h	0+4		0+5																								
X-образный с двумя криволинейными скосами двух кромок, двусторонний		Х	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>30—35</td> <td>36—41</td> <td>42—51</td> <td>52—60</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>s-3</td> <td>s-7</td> <td>s-12</td> <td>s-24</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td colspan="2">0+4</td> <td colspan="2">0+5</td> </tr> </table>	s	30—35	36—41	42—51	52—60	b	s-3	s-7	s-12	s-24	h	0+4		0+5										
s	30—35	36—41	42—51	52—60																							
b	s-3	s-7	s-12	s-24																							
h	0+4		0+5																								

Таблица 10.3

Швы сварных угловых соединений листовой стали, выполняемых ручной электродуговой сваркой (по ГОСТу 5264—58)

Тип шва	Эскиз	Обозначение на чертеже	Размеры, мм								
Без скоса кромок, односторонний		△	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>2—30</td> </tr> <tr> <td>s₁</td> <td>2—30</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>0,5s — s</td> </tr> <tr> <td>h₁</td> <td>3</td> </tr> </table> <p>Размер h₁ — ориентировочный</p>	s	2—30	s ₁	2—30	h	0,5s — s	h ₁	3
s	2—30										
s ₁	2—30										
h	0,5s — s										
h ₁	3										
Без скоса кромок, двусторонний		△									

Тип шва	Эскиз	Обозначение на чертеже	Размеры, мм																																								
Со скосом одной кромки, односторонний		V	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>4—7</td> <td>8—11</td> <td>12—17</td> <td colspan="2">18—26</td> </tr> <tr> <td>s_1</td> <td colspan="5">4—26</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>$s+11$</td> <td>$s+13$</td> <td>$s+15$</td> <td colspan="2">$s+18$</td> </tr> <tr> <td>h_1</td> <td colspan="5">3</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>$0+3$</td> <td colspan="3"></td> <td>$0+4$</td> </tr> <tr> <td>p</td> <td>$1±1$</td> <td colspan="3"></td> <td>$2+1-2$</td> </tr> </table>					s	4—7	8—11	12—17	18—26		s_1	4—26					b	$s+11$	$s+13$	$s+15$	$s+18$		h_1	3					h	$0+3$				$0+4$	p	$1±1$				$2+1-2$
s	4—7	8—11	12—17	18—26																																							
s_1	4—26																																										
b	$s+11$	$s+13$	$s+15$	$s+18$																																							
h_1	3																																										
h	$0+3$				$0+4$																																						
p	$1±1$				$2+1-2$																																						
Со скосом одной кромки, двусторонний		V	<p>Размер h_1 — ориентировочный</p>																																								
Со скосом двух кромок, односторонний		V ₁	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>12—14</td> <td>15—21</td> <td colspan="3">22—26</td> </tr> <tr> <td>s_1</td> <td colspan="5">12—26</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>$s+12$</td> <td>$s+14$</td> <td colspan="3">$s+15$</td> </tr> <tr> <td>h_1</td> <td colspan="5">3</td> </tr> </table>					s	12—14	15—21	22—26			s_1	12—26					b	$s+12$	$s+14$	$s+15$			h_1	3																
s	12—14	15—21	22—26																																								
s_1	12—26																																										
b	$s+12$	$s+14$	$s+15$																																								
h_1	3																																										
Со скосом двух кромок, двусторонний		V	<p>Размер h_1 — ориентировочный, $h = 0+4$</p>																																								
С двумя скосами одной кромки, двусторонний		K	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>12—17</td> <td>18—25</td> <td>26—35</td> <td>36—41</td> <td>42—60</td> </tr> <tr> <td>s_1</td> <td colspan="5">12—60</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>$s+4$</td> <td>$s+2$</td> <td>s</td> <td>$s-2$</td> <td>$s-3$</td> </tr> <tr> <td>b_1</td> <td>$s+2$</td> <td>s</td> <td>$s-2$</td> <td>$s-4$</td> <td>$s-5$</td> </tr> <tr> <td>h_1</td> <td>$3±3$</td> <td>$4±3$</td> <td>$5±3$</td> <td colspan="2">$6±3$</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td colspan="2">$0+4$</td> <td colspan="3">$0+5$</td> </tr> </table>					s	12—17	18—25	26—35	36—41	42—60	s_1	12—60					b	$s+4$	$s+2$	s	$s-2$	$s-3$	b_1	$s+2$	s	$s-2$	$s-4$	$s-5$	h_1	$3±3$	$4±3$	$5±3$	$6±3$		h	$0+4$		$0+5$		
s	12—17	18—25	26—35	36—41	42—60																																						
s_1	12—60																																										
b	$s+4$	$s+2$	s	$s-2$	$s-3$																																						
b_1	$s+2$	s	$s-2$	$s-4$	$s-5$																																						
h_1	$3±3$	$4±3$	$5±3$	$6±3$																																							
h	$0+4$		$0+5$																																								

Таблица 10.4

Швы тавровых соединений листовой стали, выполняемых ручной электродуговой сваркой
(по ГОСТу 5264—58)

Тип шва	Эскиз	Обозначение на чертеже	Размеры, мм																																				
Без скоса кромок, односторонний			<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>2-2,5</td> <td>3-4</td> <td>5-6</td> <td>7-9</td> <td>10-30</td> </tr> <tr> <td>s₁</td> <td colspan="5">≥ s</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td colspan="2">6-8</td> </tr> </table>	s	2-2,5	3-4	5-6	7-9	10-30	s ₁	≥ s					h	3	4	5	6-8																			
s	2-2,5	3-4	5-6	7-9	10-30																																		
s ₁	≥ s																																						
h	3	4	5	6-8																																			
Без скоса кромок, двусторонний			<p>Примечания: 1. Допускаемые отклонения по размеру катета h при отсутствии зазора +2 мм. При наличии зазора размер катета принимается h_{ном} + зазор + 2 мм. 2. Размер h, приведенный в таблице, относится к нерасчетным швам. В случае расчетных швов h устанавливается при конструировании.</p>																																				
С одним скосом одной кромки, односторонний			<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>4-7</td> <td>8-11</td> <td>12-17</td> <td colspan="2">18-26</td> </tr> <tr> <td>s₁</td> <td colspan="5">≥ s</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>s+9</td> <td>s+11</td> <td>s+13</td> <td colspan="2">s+16</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td colspan="2">3±3</td> <td>4±3</td> <td colspan="2">5±3</td> </tr> <tr> <td>h₁</td> <td colspan="5">3</td> </tr> <tr> <td>p</td> <td>1±1</td> <td colspan="4">2⁺¹₋₂</td> </tr> </table>	s	4-7	8-11	12-17	18-26		s ₁	≥ s					b	s+9	s+11	s+13	s+16		h	3±3		4±3	5±3		h ₁	3					p	1±1	2 ⁺¹ ₋₂			
s	4-7	8-11	12-17	18-26																																			
s ₁	≥ s																																						
b	s+9	s+11	s+13	s+16																																			
h	3±3		4±3	5±3																																			
h ₁	3																																						
p	1±1	2 ⁺¹ ₋₂																																					
С одним скосом одной кромки, двусторонний			<p>Размер h₁ — ориентировочный</p>																																				
С двумя скосами одной кромки, двусторонний			<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>12-17</td> <td>18-25</td> <td>26-35</td> <td>36-47</td> <td>48-51</td> <td>52-60</td> </tr> <tr> <td>s₁</td> <td colspan="6">≥ s</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>s+2</td> <td>s</td> <td>s₋₂</td> <td>s₋₃</td> <td>s₋₄</td> <td>s₋₅</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>3±3</td> <td>5±3</td> <td>6±3</td> <td>9±3</td> <td>11±3</td> <td>13±3</td> </tr> </table>	s	12-17	18-25	26-35	36-47	48-51	52-60	s ₁	≥ s						b	s+2	s	s ₋₂	s ₋₃	s ₋₄	s ₋₅	h	3±3	5±3	6±3	9±3	11±3	13±3								
s	12-17	18-25	26-35	36-47	48-51	52-60																																	
s ₁	≥ s																																						
b	s+2	s	s ₋₂	s ₋₃	s ₋₄	s ₋₅																																	
h	3±3	5±3	6±3	9±3	11±3	13±3																																	

Таблица 10.5

Швы соединений листовой стали внахлестку, выполняемых ручной электродуговой сваркой
(по ГОСТу 5264—58)

Тип шва	Эскиз	Обозначение на чертеже	Размеры, мм			
			s	2—5	6—10	12—60
Без скоса кромок, двусторонний сплошной			s ₁	≥ s		
			h	s + 2		
			l	≥ 2(s + s ₁)		
			a	0+1,5	0+3	0+4

Автоматическая сварка под слоем флюса

Нормалью ОН 26-01-71—68 рекомендуются следующие типы сварных швов, выполняемых при автоматической сварке стыковых соединений под слоем флюса:

- без скоса кромок, односторонние, с принудительным формированием корня шва, по ручной подварке и на остающейся стальной подкладке;
- без скоса кромок, двусторонние;
- V-образные, со скосами двух кромок, односторонние с принудительным формированием корня шва, по ручной подварке и на остающейся стальной подкладке;

г) V-образные, со скосами двух кромок, двусторонние;
д) X-образные, с двумя симметричными и несимметричными скосами двух кромок, двусторонние с принудительным формированием корня шва первого прохода, по ручной подварке корня шва и со сваркой первого прохода «на весу».

В табл. 10.6—10.9 приведены конструктивные элементы подготовки кромок листовой стали и размеры швов, выполняемых автоматической сваркой под слоем флюса.

Рекомендуемая присадочная проволока и флюсы для автоматической и полуавтоматической сварки углеродистой и низколегированной сталей различных марок приведены в табл. 6.1.

Таблица 10.6

Швы сварных стыковых соединений листовой стали, выполняемых автоматической и полуавтоматической сваркой под слоем флюса (по ГОСТу 8713—58 и ОН 26-01—71—68)

Тип шва	Способ сварки	Эскиз	Обозначение на чертеже	Размеры, мм				
				s	2	3	4	5
Без скоса кромок, односторонний	Автоматическая		А ] [	b	7±1,5	8±2	10±2	12±2
	a			0+0,3	0+0,5	0+0,8	0+1,0	
	Полуавтоматическая		П ] [	h	1,5±1		2±1	
				$h_{1 \text{ наим}} = 0,6s$				

Тип шва	Способ сварки	Эскиз	Обозначение на чертеже	Размеры, мм																																																	
				s	2	3	4	5	6	7-9	10-14	16-20																																									
Без скоса кромок, двусторонний	Автоматическая		A	<table border="1"> <tr> <td>s</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7-9</td><td>10-14</td><td>16-20</td> </tr> <tr> <td>h</td><td colspan="2">1,5±1</td><td colspan="2">2±1</td><td colspan="2">2^{+1,5}_{-1,0}</td><td>2,5±1,5</td><td>2,5⁺²_{-1,5}</td> </tr> <tr> <td>b</td><td>7±1,5</td><td>8±2</td><td>10±2</td><td>12±2</td><td>16±3</td><td>20±3</td><td>22±4</td> </tr> <tr> <td>a</td><td>0^{+0,3}</td><td>0^{+0,5}</td><td>0^{+0,8}</td><td colspan="5">0⁺¹</td> </tr> </table>											s	2	3	4	5	6	7-9	10-14	16-20	h	1,5±1		2±1		2 ^{+1,5} _{-1,0}		2,5±1,5	2,5 ⁺² _{-1,5}	b	7±1,5	8±2	10±2	12±2	16±3	20±3	22±4	a	0 ^{+0,3}	0 ^{+0,5}	0 ^{+0,8}	0 ⁺¹								
	s		2	3	4	5	6	7-9	10-14	16-20																																											
h	1,5±1		2±1		2 ^{+1,5} _{-1,0}		2,5±1,5	2,5 ⁺² _{-1,5}																																													
b	7±1,5	8±2	10±2	12±2	16±3	20±3	22±4																																														
a	0 ^{+0,3}	0 ^{+0,5}	0 ^{+0,8}	0 ⁺¹																																																	
Полуавтоматическая	II	<table border="1"> <tr> <td>s</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td> </tr> <tr> <td>a</td><td colspan="2">0,5±0,5</td><td colspan="3">1±1</td> </tr> <tr> <td>h</td><td colspan="2">1,5±1</td><td colspan="3">2±1</td> </tr> <tr> <td>b</td><td>7±1,5</td><td>8±2</td><td>10±2</td><td>12±2</td> </tr> <tr> <td>b₁</td><td colspan="3">8±2</td><td>10±2</td> </tr> </table> <p>Полуавтоматическая сварка при s < 3 мм не рекомендуется</p>											s	2	3	4	5	a	0,5±0,5		1±1			h	1,5±1		2±1			b	7±1,5	8±2	10±2	12±2	b ₁	8±2			10±2														
s	2	3	4	5																																																	
a	0,5±0,5		1±1																																																		
h	1,5±1		2±1																																																		
b	7±1,5	8±2	10±2	12±2																																																	
b ₁	8±2			10±2																																																	
Без скоса кромок, двусторонний с ручной сваркой с другой стороны	Автоматическая		Ap	<table border="1"> <tr> <td>s</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td> </tr> <tr> <td>a</td><td colspan="2">0,5±0,5</td><td colspan="3">1±1</td> </tr> <tr> <td>h</td><td colspan="2">1,5±1</td><td colspan="3">2±1</td> </tr> <tr> <td>b</td><td>7±1,5</td><td>8±2</td><td>10±2</td><td>12±2</td> </tr> <tr> <td>b₁</td><td colspan="3">8±2</td><td>10±2</td> </tr> </table> <p>Полуавтоматическая сварка при s < 3 мм не рекомендуется</p>											s	2	3	4	5	a	0,5±0,5		1±1			h	1,5±1		2±1			b	7±1,5	8±2	10±2	12±2	b ₁	8±2			10±2												
	s		2	3	4	5																																															
a	0,5±0,5		1±1																																																		
h	1,5±1		2±1																																																		
b	7±1,5	8±2	10±2	12±2																																																	
b ₁	8±2			10±2																																																	
Полуавтоматическая	Pr	<p>Полуавтоматическая сварка при s < 3 мм не рекомендуется</p>																																																			
Без скоса кромок, односторонний	Автоматическая на флюсовой подушке		Aф	<table border="1"> <tr> <td>s</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>10</td> </tr> <tr> <td>a</td><td>0⁺¹</td><td>1±1</td><td>1,5±1</td><td>2±1,5</td> </tr> <tr> <td>b</td><td>10±2</td><td>14±2</td><td>18±3</td><td>22±4</td> </tr> <tr> <td>h</td><td>1,5±1</td><td colspan="3">2±1,5</td> </tr> <tr> <td>h₁</td><td>1±1</td><td>1,5±1</td><td>2±1</td> </tr> </table> <p>Для конструкций, работающих в благоприятных условиях, допускается при условии полного проплавления отсутствие обратного усиления шва и местные плавные ослабления шва глубиной не более 0,1s</p>											s	2	3	4	5	6	7	8	10	a	0 ⁺¹	1±1	1,5±1	2±1,5	b	10±2	14±2	18±3	22±4	h	1,5±1	2±1,5			h ₁	1±1	1,5±1	2±1											
				s	2	3	4	5	6	7	8	10																																									
a	0 ⁺¹	1±1	1,5±1	2±1,5																																																	
b	10±2	14±2	18±3	22±4																																																	
h	1,5±1	2±1,5																																																			
h ₁	1±1	1,5±1	2±1																																																		
Без скоса кромок, двусторонний	Автоматическая на флюсовой подушке		Aф	<table border="1"> <tr> <td>s</td><td>2</td><td>3</td><td>4-5</td><td>6</td><td>7-9</td><td>10</td><td>12-14</td><td>16-20</td><td>22</td><td>30</td><td>40</td><td>50</td> </tr> <tr> <td>h</td><td>1,5±1</td><td>2±1,5</td><td>2,5±1,5</td><td>2,5⁺²_{-1,5}</td><td>2,5^{+2,5}_{-1,5}</td><td>3⁺³₋₂</td> </tr> <tr> <td>b</td><td>7±1,5</td><td>8±2</td><td>10±2</td><td>16±3</td><td>20±3</td><td>22±4</td><td>30±4</td><td>40±4</td><td>45±5</td> </tr> <tr> <td>a</td><td>0⁺¹</td><td>1±1</td><td colspan="3">2±2</td><td>6±1</td><td>8±1</td><td>10±1</td> </tr> </table>											s	2	3	4-5	6	7-9	10	12-14	16-20	22	30	40	50	h	1,5±1	2±1,5	2,5±1,5	2,5 ⁺² _{-1,5}	2,5 ^{+2,5} _{-1,5}	3 ⁺³ ₋₂	b	7±1,5	8±2	10±2	16±3	20±3	22±4	30±4	40±4	45±5	a	0 ⁺¹	1±1	2±2			6±1	8±1	10±1
				s	2	3	4-5	6	7-9	10	12-14	16-20	22	30	40	50																																					
h	1,5±1	2±1,5	2,5±1,5	2,5 ⁺² _{-1,5}	2,5 ^{+2,5} _{-1,5}	3 ⁺³ ₋₂																																															
b	7±1,5	8±2	10±2	16±3	20±3	22±4	30±4	40±4	45±5																																												
a	0 ⁺¹	1±1	2±2			6±1	8±1	10±1																																													

Тип шва	Способ сварки	Эскиз	Обозначение на чертеже	Размеры, мм							
				s	2-3	4	5	6	7	8	9-10
Без скоса кромок, односторонний на стальной подкладке	Автоматическая		Ac	a	1,5±1	2±1	3±1,5		4±1,5		
	Полуавтоматическая		Pc	b	10±2	14±3	18±3	22±4			
				h	1,5±1	2±1,5					
				s ₁	3-6						
				b ₁	≥15	≥20	≥25	≥30			
V-образный со скосом двух кромок, односторонний	Автоматическая на флюсовой подушке		Aφ	s	8-9	10	12	14	16-20	22-24	
				p	3±1		4±1				
				b	18±3	20±3	22±4	24±4	26±5		
				h	2±1,5	2,5±1,5	2,5 ⁺² _{-1,5}	2,5 ^{+2,5} _{-1,5}			
V-образный со скосом двух кромок, двусторонний	Автоматическая		A	s	14	16	18-20	22-24			
	Полуавтоматическая		П	p	6±1		7±1	8±1			
				b	18±3		22±4	24±4			
				h	2±1,5	2,5 ⁺² _{-1,5}		2,5 ^{+2,5} _{-1,5}			
V-образный со скосом двух кромок, двусторонний с ручной подваркой	Автоматическая		Ap	s	5-6	7	8	9	10	12	14
	Полуавтоматическая		Pr	f	3±1		4±1	5±1	8±1		
				b	17±3		20±4				
				b ₁	12±2	13±2	14±2	16±2			
				h	2±1	2 ^{+1,5} _{-1,0}		2,5±1,5			
V-образный, со скосом двух кромок, двусторонний с двусторонней ручной подваркой корня шва	Автоматическая		App	s	14	16	18-20	22-24	26-30		
	Полуавтоматическая		Prp	b	20±4		25±5	30±6	37±7		
				h	2±1,5	2,5 ⁺² _{-1,5}		2,5 ⁺²			

Тип шва	Способ сварки	Эскиз	Обозначение на чертеже	Размеры, мм																																																																																																																											
V-образный, со скосом двух кромок, односторонний на стальной подкладке	Автоматическая		Ac ∇	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>8-9</td> <td>10</td> <td>12</td> <td>14</td> <td>16</td> <td>18</td> <td>20</td> <td>22-24</td> <td>26-30</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td colspan="2">2±1</td> <td colspan="2">3±1,5</td> <td colspan="2">4±1,5</td> <td colspan="3">5±1,5</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>18±3</td> <td>20±3</td> <td>22±4</td> <td colspan="2">24±4</td> <td colspan="2">26±4</td> <td colspan="2">30±4</td> </tr> <tr> <td>s₁</td> <td colspan="2">≥ 3</td> <td colspan="2">≥ 4</td> <td colspan="4">≥ 6</td> </tr> <tr> <td>b₁</td> <td colspan="3">≥ 30</td> <td colspan="2">≥ 40</td> <td colspan="3">≥ 50</td> </tr> </table>	s	8-9	10	12	14	16	18	20	22-24	26-30	a	2±1		3±1,5		4±1,5		5±1,5			b	18±3	20±3	22±4	24±4		26±4		30±4		s ₁	≥ 3		≥ 4		≥ 6				b ₁	≥ 30			≥ 40		≥ 50																																																																													
	s		8-9	10	12	14	16	18	20	22-24	26-30																																																																																																																				
a	2±1		3±1,5		4±1,5		5±1,5																																																																																																																								
b	18±3	20±3	22±4	24±4		26±4		30±4																																																																																																																							
s ₁	≥ 3		≥ 4		≥ 6																																																																																																																										
b ₁	≥ 30			≥ 40		≥ 50																																																																																																																									
Полуавтоматическая	Пс ∇																																																																																																																														
V-образный, с криволинейным скосом двух кромок, двусторонний	Автоматическая		A ∇	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>30</td> <td>32</td> <td>34</td> <td>36</td> <td>38</td> <td>40</td> <td>42</td> <td>45</td> <td>48</td> <td>50</td> <td>55</td> <td>60</td> <td>65</td> <td>70</td> <td>80</td> <td>90</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>p</td> <td colspan="10">5±1</td> <td colspan="7">8±1</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>35</td> <td>36</td> <td>37</td> <td>38</td> <td>39</td> <td>40</td> <td>41</td> <td>42</td> <td>44</td> <td>45</td> <td>47</td> <td>54</td> <td>56</td> <td>55</td> <td>59</td> <td>63</td> <td>68</td> </tr> <tr> <td>b₁</td> <td colspan="2">15+4</td> <td colspan="4">16+4</td> <td colspan="4">18+4</td> <td colspan="4">20+4</td> </tr> <tr> <td>b₂</td> <td>19</td> <td>20</td> <td>21</td> <td>22</td> <td>23</td> <td>24</td> <td>25</td> <td>26</td> <td>28</td> <td>29</td> <td>31</td> <td>38</td> <td>40</td> <td>39</td> <td>43</td> <td>47</td> <td>52</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td colspan="5">2,5+2,5 -1,5</td> <td colspan="12">3+3 -2</td> </tr> <tr> <td>R</td> <td colspan="10">5±1</td> <td colspan="7">8±1</td> </tr> </table>	s	30	32	34	36	38	40	42	45	48	50	55	60	65	70	80	90	100	p	5±1										8±1							b	35	36	37	38	39	40	41	42	44	45	47	54	56	55	59	63	68	b ₁	15+4		16+4				18+4				20+4				b ₂	19	20	21	22	23	24	25	26	28	29	31	38	40	39	43	47	52	h	2,5+2,5 -1,5					3+3 -2												R	5±1										8±1						
s	30	32	34	36	38	40	42	45	48	50	55	60	65	70	80	90	100																																																																																																														
p	5±1										8±1																																																																																																																				
b	35	36	37	38	39	40	41	42	44	45	47	54	56	55	59	63	68																																																																																																														
b ₁	15+4		16+4				18+4				20+4																																																																																																																				
b ₂	19	20	21	22	23	24	25	26	28	29	31	38	40	39	43	47	52																																																																																																														
h	2,5+2,5 -1,5					3+3 -2																																																																																																																									
R	5±1										8±1																																																																																																																				
X-образный, с двумя симметричными скосами двух кромок, двусторонний	Автоматическая		A X	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>20-22</td> <td>24</td> <td>26-28</td> <td>30-36</td> <td>38</td> <td>40-42</td> <td>44-50</td> <td>52-60</td> </tr> <tr> <td>p</td> <td>6±1</td> <td>8±1</td> <td colspan="5">6±1</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>20±3</td> <td>22±3</td> <td>24±4</td> <td>26±4</td> <td>28±4</td> <td>32±4</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td colspan="5">2,5+2,5 -1,5</td> <td colspan="2">3+3 -2</td> </tr> <tr> <td>α</td> <td colspan="3">60°±5°</td> <td colspan="4">50°±5°</td> </tr> </table>	s	20-22	24	26-28	30-36	38	40-42	44-50	52-60	p	6±1	8±1	6±1					b	20±3	22±3	24±4	26±4	28±4	32±4	h	2,5+2,5 -1,5					3+3 -2		α	60°±5°			50°±5°																																																																																						
	s		20-22		24	26-28	30-36	38	40-42	44-50	52-60																																																																																																																				
p	6±1	8±1	6±1																																																																																																																												
b	20±3	22±3	24±4	26±4	28±4	32±4																																																																																																																									
h	2,5+2,5 -1,5					3+3 -2																																																																																																																									
α	60°±5°			50°±5°																																																																																																																											
Полуавтоматическая	П X																																																																																																																														
При полуавтоматической сварке p=4±1 мм																																																																																																																															
X-образный, с двумя симметричными скосами двух кромок, двусторонний	Автоматическая на флюсовой подушке		Aφ X	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>24-28</td> <td>30-38</td> <td>40-48</td> <td>50-60</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>30±5</td> <td>35±5</td> <td>40±5</td> <td>45±5</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td colspan="2">2,5+2,5 -1,5</td> <td colspan="2">3+3 -2</td> </tr> <tr> <td>α</td> <td colspan="2">60°±5°</td> <td colspan="2">50°±5°</td> </tr> </table>	s	24-28	30-38	40-48	50-60	b	30±5	35±5	40±5	45±5	h	2,5+2,5 -1,5		3+3 -2		α	60°±5°		50°±5°																																																																																																								
s	24-28	30-38	40-48	50-60																																																																																																																											
b	30±5	35±5	40±5	45±5																																																																																																																											
h	2,5+2,5 -1,5		3+3 -2																																																																																																																												
α	60°±5°		50°±5°																																																																																																																												

Тип шва	Способ сварки	Эскиз	Обозначение на чертеже	Размеры, мм																																																																						
Х-образный, с двумя несимметричными скосами двух кромок, двусторонний с ручной подваркой	Автоматическая		Ар ✕	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>18—20</td> <td>22—26</td> <td>28—32</td> <td>34—36</td> <td>38</td> <td>40—44</td> <td>46—50</td> <td>52—56</td> <td>58—60</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td colspan="3">2±1</td> <td colspan="6">3±1</td> </tr> <tr> <td>f</td> <td colspan="2">8±1</td> <td colspan="2">9±1</td> <td colspan="5">10±1</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>18±3</td> <td>22±4</td> <td>26±4</td> <td>28±5</td> <td>34±5</td> <td>40±5</td> <td>45±5</td> <td>50±5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>b₁</td> <td colspan="2">16±2</td> <td colspan="2">17±2</td> <td colspan="2">19±2</td> <td colspan="3">20±2</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td colspan="6">2,5^{+2,5}_{-1,5}</td> <td colspan="3">3⁺³₋₂</td> </tr> <tr> <td>α</td> <td colspan="4">50°±5°</td> <td colspan="2">45°±4°</td> <td colspan="3">40°±3°</td> </tr> </table>	s	18—20	22—26	28—32	34—36	38	40—44	46—50	52—56	58—60	a	2±1			3±1						f	8±1		9±1		10±1					b	18±3	22±4	26±4	28±5	34±5	40±5	45±5	50±5		b ₁	16±2		17±2		19±2		20±2			h	2,5 ^{+2,5} _{-1,5}						3 ⁺³ ₋₂			α	50°±5°				45°±4°		40°±3°		
	s		18—20	22—26	28—32	34—36	38	40—44	46—50	52—56	58—60																																																															
a	2±1			3±1																																																																						
f	8±1		9±1		10±1																																																																					
b	18±3	22±4	26±4	28±5	34±5	40±5	45±5	50±5																																																																		
b ₁	16±2		17±2		19±2		20±2																																																																			
h	2,5 ^{+2,5} _{-1,5}						3 ⁺³ ₋₂																																																																			
α	50°±5°				45°±4°		40°±3°																																																																			
Полуавтоматическая	Пр ✕																																																																									

Таблица 10.7

Швы угловых соединений листовой стали, выполняемых автоматической и полуавтоматической сваркой под слоем флюса (по ГОСТу 8713—68 и ОН 26-01-71—68)

Тип шва	Способ сварки	Эскиз	Обозначение на чертеже	Размеры, мм																				
Без скоса кромок, двусторонний с ручной подваркой	Автоматическая		Ар ∇ h	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>6—9</td> <td>10—14</td> </tr> <tr> <td>p</td> <td>2±1</td> <td>3±1</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>≥ 3</td> <td>≥ 4</td> </tr> </table>	s	6—9	10—14	p	2±1	3±1	h	≥ 3	≥ 4											
	s		6—9	10—14																				
p	2±1	3±1																						
h	≥ 3	≥ 4																						
Полуавтоматическая	Пр ∇ h	Размер h выбирается по меньшей толщине. s ₁ ≥ s.																						
Со скосом одной кромки, двусторонний с ручной подваркой	Автоматическая		Ар V	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>10—12</td> <td>14</td> <td>16—20</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>15±3</td> <td>20±3</td> <td>25±4</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td colspan="2">5</td> <td>6</td> </tr> </table>	s	10—12	14	16—20	b	15±3	20±3	25±4	h	5		6								
	s		10—12	14	16—20																			
b	15±3	20±3	25±4																					
h	5		6																					
Полуавтоматическая	Пр V	s ₁ ≥ 10 мм																						
С двумя скосами одной кромки, двусторонний с ручной подваркой	Автоматическая		Ар K	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>20—24</td> <td>26—28</td> <td>30—34</td> <td>36—40</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>20±3</td> <td>25±4</td> <td>30±4</td> <td>40±4</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>3±2</td> <td>4±2</td> <td colspan="2">5±2</td> </tr> <tr> <td>f</td> <td>7±1</td> <td>8±1</td> <td>10±1</td> <td>12±1</td> </tr> </table>	s	20—24	26—28	30—34	36—40	b	20±3	25±4	30±4	40±4	h	3±2	4±2	5±2		f	7±1	8±1	10±1	12±1
	s		20—24	26—28	30—34	36—40																		
b	20±3	25±4	30±4	40±4																				
h	3±2	4±2	5±2																					
f	7±1	8±1	10±1	12±1																				
Полуавтоматическая	Пр K	s ₁ ≥ 20 мм																						

Таблица 10.8

Швы тавровых соединений листового стали, выполняемых автоматической и полуавтоматической сваркой под слоем флюса (по ГОСТу 8713—58 и ОН 26-01-71—68)

Тип шва	Способ сварки	Эскиз	Обозначение на чертеже	Размеры, мм																									
Без скоса кромок, односторонний	Автоматическая		A	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>3</td> <td>4—5</td> <td>6—9</td> <td>10</td> <td>12—16</td> <td>18—40</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>0^{+0,8}</td> <td>0⁺¹</td> <td>0^{+1,5}</td> <td colspan="3">0⁺²</td> </tr> </table>	s	3	4—5	6—9	10	12—16	18—40	a	0 ^{+0,8}	0 ⁺¹	0 ^{+1,5}	0 ⁺²													
	s		3		4—5	6—9	10	12—16	18—40																				
a	0 ^{+0,8}	0 ⁺¹	0 ^{+1,5}	0 ⁺²																									
Полуавтоматическая	П																												
Без скоса кромок, двусторонний	Автоматическая		A	<table border="1"> <tr> <td>h</td> <td>≥ 3</td> <td>≥ 4</td> <td>≥ 5</td> <td>≥ 6</td> </tr> </table>	h	≥ 3	≥ 4	≥ 5	≥ 6																				
	h		≥ 3		≥ 4	≥ 5	≥ 6																						
Полуавтоматическая	П	$s_1 \geq s$																											
Без скоса кромок, двусторонний с ручной сваркой с другой стороны	Автоматическая		Ap	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>3</td> <td>4—5</td> <td>6—9</td> <td>10</td> <td>12—14</td> <td>16—20</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td colspan="2">0^{+1,5}</td> <td colspan="2">0⁺²</td> <td colspan="2">0⁺³</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>≥ 3</td> <td>—</td> <td>≥ 4</td> <td>≥ 5</td> <td>≥ 6</td> </tr> <tr> <td>h₁</td> <td>≥ 3</td> <td>≥ 4</td> <td>≥ 5</td> <td>≥ 6</td> </tr> </table>	s	3	4—5	6—9	10	12—14	16—20	a	0 ^{+1,5}		0 ⁺²		0 ⁺³		h	≥ 3	—	≥ 4	≥ 5	≥ 6	h ₁	≥ 3	≥ 4	≥ 5	≥ 6
	s		3		4—5	6—9	10	12—14	16—20																				
a	0 ^{+1,5}		0 ⁺²		0 ⁺³																								
h	≥ 3	—	≥ 4	≥ 5	≥ 6																								
h ₁	≥ 3	≥ 4	≥ 5	≥ 6																									
Полуавтоматическая	Пр	$s_1 \geq s$																											
С двумя скосами одной кромки, двусторонний	Автоматическая		A	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>16—18</td> <td>20—22</td> <td>24—26</td> <td>28—30</td> <td>32—36</td> <td>38—40</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> </tr> </table>	s	16—18	20—22	24—26	28—30	32—36	38—40	h	4	5	6	7	8	9											
	s		16—18		20—22	24—26	28—30	32—36	38—40																				
h	4	5	6	7	8	9																							
Полуавтоматическая	П	$s_1 \geq s$																											
Со скосом одной кромки, двусторонний с ручной подваркой	Автоматическая		Ap	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>10—12</td> <td>14</td> <td>16—18</td> <td>20</td> <td>22—24</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td colspan="2">5</td> <td colspan="2">6</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>h₁</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>10</td> </tr> </table>	s	10—12	14	16—18	20	22—24	h	5		6		7	h ₁	6	7	8	9	10							
	s		10—12		14	16—18	20	22—24																					
h	5		6		7																								
h ₁	6	7	8	9	10																								
Полуавтоматическая	Пр	$s_1 \geq s$																											
С двумя скосами одной кромки, двусторонний с ручной сваркой с другой стороны	Автоматическая		Ap	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>20</td> <td>22—24</td> <td>26—28</td> <td>30—34</td> <td>36—40</td> </tr> <tr> <td>f</td> <td colspan="2">7±1</td> <td>8±1</td> <td>10±1</td> <td>12±1</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>h₁</td> <td colspan="2">3</td> <td colspan="2">4</td> <td>5</td> </tr> </table>	s	20	22—24	26—28	30—34	36—40	f	7±1		8±1	10±1	12±1	h	6	7	8	10	12	h ₁	3		4		5	
	s		20		22—24	26—28	30—34	36—40																					
f	7±1		8±1	10±1	12±1																								
h	6	7	8	10	12																								
h ₁	3		4		5																								
Полуавтоматическая	Пр	$s_1 \geq s$																											

Таблица 10.9

Швы соединений листовой стали внахлестку, выполняемых автоматической и полуавтоматической сваркой под слоем флюса (по ГОСТу 8713—58)

Тип шва	Способ сварки	Эскиз	Обозначение на чертеже	Размеры, мм																
Без скоса кромок, односторонний сплошной	Автоматическая		A	h																
	Полуавтоматическая		П	h																
Без скоса кромок, двусторонний сплошной	Автоматическая		A	h																
	Полуавтоматическая		П	h																
				<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>1—5</td> <td>6—10</td> <td>12—20</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>0⁺¹</td> <td>0⁺²</td> <td>0⁺³</td> </tr> <tr> <td>l</td> <td colspan="3">20—90</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td colspan="3">Устанавливается при конструировании по наименьшей толщине листа</td> </tr> </table>	s	1—5	6—10	12—20	a	0 ⁺¹	0 ⁺²	0 ⁺³	l	20—90			h	Устанавливается при конструировании по наименьшей толщине листа		
s	1—5	6—10	12—20																	
a	0 ⁺¹	0 ⁺²	0 ⁺³																	
l	20—90																			
h	Устанавливается при конструировании по наименьшей толщине листа																			
				$s_1 \geq s$																

Полуавтоматическая сварка малоуглеродистой стали

2 мм под флюсом ОСЦ-45 или АН-348А (мелкой грануляции).

Газовая сварка малоуглеродистой стали

Полуавтоматическая сварка малоуглеродистой стали применяется для соединения под флюсом швов, недоступных для сварки автоматами, а также для сварки коротких, прерывистых и криволинейных швов.

Газовая сварка малоуглеродистой стали применяется преимущественно для соединения тонколистового металла толщиной до 2 мм и более толстого металла при отсутствии источников тока.

Конструктивные элементы подготовки кромок листовой стали и размеры швов, выполняемых полуавтоматической сваркой под слоем флюса, приведены в табл. 10.6—10.9. Сварка производится проволокой Св-08А или Св-08 (по ГОСТу 2246—60) диаметром

Конструктивные элементы сварных соединений листовой малоуглеродистой стали и размеры швов, выполняемых газовой сваркой приведены в табл. 10.10. В качестве присадочного материала применяется проволока Св-08 и Св-08А по ГОСТу 2246—60.

Таблица 10.10

Швы соединений листовой малоуглеродистой стали, выполняемых газовой сваркой (по ОН 26-01-71—68 и [181])

Тип шва	Эскиз	Обозначение на чертеже	Размеры, мм																								
Без скоса кромок, односторонний		Г	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>1</td> <td>1,5</td> <td>2</td> <td>2,5</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td colspan="2">4±2</td> <td colspan="2">6±2</td> <td>8±4</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td colspan="2">0⁺¹</td> <td colspan="3">0^{+1,5}</td> </tr> </table>	s	1	1,5	2	2,5	3	b	4±2		6±2		8±4	h	0 ⁺¹		0 ^{+1,5}								
s	1	1,5	2	2,5	3																						
b	4±2		6±2		8±4																						
h	0 ⁺¹		0 ^{+1,5}																								
Без скоса кромок, двусторонний		Г	<p style="text-align: center;">$a = 1 \pm 2$ мм</p>																								
V-образный со скосом двух кромок, односторонний		Г V	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>12</td> <td>14</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>16</td> <td>17</td> <td>19</td> <td>23</td> <td>25</td> <td>27</td> <td>31</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td colspan="3">0⁺²</td> <td colspan="4">0⁺³</td> </tr> </table>	s	5	6	8	10	12	14	16	b	16	17	19	23	25	27	31	h	0 ⁺²			0 ⁺³			
s	5	6	8	10	12	14	16																				
b	16	17	19	23	25	27	31																				
h	0 ⁺²			0 ⁺³																							
V-образный со скосом двух кромок, двусторонний		Г V	<table border="1"> <tr> <td>a</td> <td colspan="2">2±1</td> <td colspan="2">3±2</td> <td colspan="2">4±2</td> </tr> <tr> <td>b1</td> <td colspan="2">6</td> <td colspan="2">8</td> <td colspan="2">10</td> </tr> </table>	a	2±1		3±2		4±2		b1	6		8		10											
a	2±1		3±2		4±2																						
b1	6		8		10																						

Автоматическая и полуавтоматическая сварки малоуглеродистой стали в среде углекислого газа

выполняемых автоматической сваркой в среде углекислого газа, приведены в табл. 10.11. В качестве присадочного материала используется проволока Св-08Г2С по ГОСТу 2246—60. Защитный газ — осушенная пищевая углекислота по ГОСТу 8050—64.

Конструктивные элементы сварных стыковых соединений листовой малоуглеродистой стали и размеры швов,

Таблица 10.11

Швы соединений листовой малоуглеродистой стали, выполняемых автоматической и полуавтоматической сваркой в среде углекислого газа (по ГОСТу ОН 26-91-71—68 и [181])

Тип шва	Способ сварки	Эскиз	Обозначение на чертеже	Размеры, мм																																		
				s	1	2	3	4	5	6																												
Без скоса кромок, односторонний	Автоматическая		A3 J	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td colspan="2">0+0,5</td> <td colspan="4">0+1</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>5±2</td> <td>6±2</td> <td>8±2</td> <td>9±2</td> <td>10±2</td> <td>12±2</td> </tr> <tr> <td>Диаметр проволочки</td> <td colspan="2">0,5—0,8</td> <td colspan="2">0,8—1,0</td> <td colspan="2">1,6—2,0</td> <td>2,0</td> </tr> </table>						s	1	2	3	4	5	6	a	0+0,5		0+1				b	5±2	6±2	8±2	9±2	10±2	12±2	Диаметр проволочки	0,5—0,8		0,8—1,0		1,6—2,0		2,0
	s		1	2	3	4	5	6																														
a	0+0,5		0+1																																			
b	5±2	6±2	8±2	9±2	10±2	12±2																																
Диаметр проволочки	0,5—0,8		0,8—1,0		1,6—2,0		2,0																															
Полуавтоматическая	P3 J	$h = 2 \pm 1$ мм																																				
Без скоса кромок, двусторонний	Автоматическая		A3 J	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>6</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td colspan="2">8±2</td> <td colspan="2">9±2</td> <td colspan="2">10±2</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td colspan="3">1,5±0,5</td> <td colspan="3">2±1</td> </tr> <tr> <td>Диаметр проволочки</td> <td colspan="3">1,6—2,0</td> <td colspan="3">2</td> </tr> </table>						s	3	4	6	8	10	12	b	8±2		9±2		10±2		h	1,5±0,5			2±1			Диаметр проволочки	1,6—2,0			2			
	s		3	4	6	8	10	12																														
b	8±2		9±2		10±2																																	
h	1,5±0,5			2±1																																		
Диаметр проволочки	1,6—2,0			2																																		
Полуавтоматическая	P3 J	$a = 0+1$																																				
Без скоса кромок, односторонний на стальной подкладке	Автоматическая		A3 J	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td colspan="4">2±1</td> <td colspan="2">3±1</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>9±2</td> <td>10±2</td> <td>12±2</td> <td>14±2</td> <td colspan="2">16±2</td> </tr> </table>						s	3	4	5	6	8	a	2±1				3±1		b	9±2	10±2	12±2	14±2	16±2										
	s		3	4	5	6	8																															
a	2±1				3±1																																	
b	9±2	10±2	12±2	14±2	16±2																																	
Полуавтоматическая	P3 J	$h = 2 \pm 1$ мм; диаметр проволоки 2 мм																																				
V-образный, со скосом двух кромок односторонний	Автоматическая		A3 V	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>12</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>p</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td colspan="2">14±2</td> <td colspan="2">16±2</td> </tr> </table>						s	8	10	12	14	p	4	5	6	8	b	14±2		16±2															
	s		8	10	12	14																																
p	4	5	6	8																																		
b	14±2		16±2																																			
Полуавтоматическая	P3 V	Диаметр проволоки 2 мм																																				
V-образный, со скосами двух кромок, двусторонний	Автоматическая		A3 V	<table border="1"> <tr> <td>b</td> <td colspan="2">14±2</td> <td colspan="2">16±2</td> </tr> <tr> <td>b1</td> <td colspan="2">8±2</td> <td colspan="2">10±2</td> </tr> </table>						b	14±2		16±2		b1	8±2		10±2																				
	b		14±2		16±2																																	
b1	8±2		10±2																																			
Полуавтоматическая	P3 V	Диаметр проволоки 2 мм																																				

Тип шва	Способ сварки	Эскиз	Обозначение на чертеже	Размеры, мм																																																
V-образный, с криволинейным скосом двух кромок, двусторонний	Автоматическая		A3 У	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>40</td> <td>42</td> <td>44</td> <td>46</td> <td>48</td> <td>50</td> <td>52</td> <td>54</td> <td>56</td> <td>58</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>30±2</td> <td>32±2</td> <td>34±2</td> <td>36±2</td> <td>40±2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>b_i</td> <td>16±2</td> <td>18±2</td> <td>20±2</td> <td>22±2</td> <td>24±2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>R</td> <td colspan="2">5±1</td> <td colspan="2">6±1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	s	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	b	30±2	32±2	34±2	36±2	40±2							b _i	16±2	18±2	20±2	22±2	24±2							R	5±1		6±1								
	s		40		42	44	46	48	50	52	54	56	58	60																																						
b	30±2	32±2	34±2		36±2	40±2																																														
b _i	16±2	18±2	20±2		22±2	24±2																																														
R	5±1		6±1																																																	
Полуавтоматическая	ПЗ У																																																			
X-образный, с двумя криволинейными скосами двух кромок, двусторонний	Автоматическая		A3 Х																																																	
	Полуавтоматическая		ПЗ Х																																																	
X-образный, с двумя симметричными скосами двух кромок, двусторонний	Автоматическая		A3 Х	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>12-14</td> <td>16-18</td> <td>20-22</td> <td>25</td> <td>30</td> <td>35</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>10</td> <td>12</td> <td>14</td> <td>16</td> <td>20</td> <td>24</td> <td>28</td> </tr> <tr> <td>Диаметр проволоки</td> <td colspan="2">?</td> <td colspan="2">2-2,5</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	s	12-14	16-18	20-22	25	30	35	40	b	10	12	14	16	20	24	28	Диаметр проволоки	?		2-2,5																												
	s		12-14		16-18	20-22	25	30	35	40																																										
b	10	12	14		16	20	24	28																																												
Диаметр проволоки	?		2-2,5																																																	
Полуавтоматическая	ПЗ Х																																																			
Диаметр проволоки 2—3 мм																																																				

10.2. СВАРКА ТЕПЛОУСТОЙЧИВОЙ СТАЛИ МАРОК 12ХМ И 12МХ

Конструктивные элементы сварных соединений листовой теплоустойчивой стали марок 12ХМ и 12МХ и размеры швов, выполняемых ручной электродуговой сваркой, должны соответствовать данным табл. 10.2—10.5, автоматической сваркой под слоем флюса — табл. 10.6—10.9.

Рекомендуемые электроды для ручной сварки приведены в табл. 6.2 и присадочные материалы при автоматической сварке — в табл. 6.1.

10.3. СВАРКА ХРОМИСТОЙ СТАЛИ МАРОК 0Х13, 1Х13, Х17, 0Х17Т, 1Х17Н2, Х25Т И Х28АН

Конструктивные элементы сварных соединений листовой хромистой стали марок 0Х13, 1Х13, Х17, 0Х17Т, 1Х17Н2, Х25Т и Х28АН и размеры швов, выполняемых ручной электродуговой сваркой, должны соответствовать данным табл. 10.2—10.5, автоматической сваркой под слоем флюса — данным табл. 10.6—10.9.

Рекомендуемые электроды для ручной сварки и присадочные материалы для автоматической сварки приведены в табл. 6.3.

10.4. СВАРКА СТАЛЕЙ 0Х22Н5Т И 0Х21Н6М2Т

Ручная электродугловая сварка

Ручная электродугловая сварка применяется при сварке листовой стали марок 0Х22Н5Т и 0Х21Н6М2Т толщиной более 4 мм.

Конструктивные элементы подготовки кромок сварных соединений и размеры швов, выполняемых ручной электродуговой сваркой, должны соответствовать данным табл. 10.2—10.5.

Рекомендуемые электроды для ручной сварки сталей 0Х22Н5Т и 0Х21Н6М2Т приведены в табл. 6.2.

Ручная аргоно-дугловая сварка

Ручную аргоно-дугловую сварку рекомендуется применять при сварке листовой стали марок 0Х22Н5Т и 0Х21Н6М2Т толщиной до 4 мм включительно.

Стыковые соединения листовой стали толщиной $s \leq 2,0$ мм рекомендуется выполнять без разделки кромок с зазором между кромками $a = 0 \div 1,0$ мм; толщиной $s = 2,5 \div 4$ мм, с V-образной разделкой кромок, с общим углом раскрытия $\alpha = 55^\circ \pm 5^\circ$, зазором между кромками $a = 0,5 \div 2,0$ мм и притуплением $r = 0,5 \div 1,5$ мм.

В качестве присадочного материала для аргоно-дугловой сварки марок 0Х22Н5Т используется проволока марок Св-04Х19Н9, Св-08Х19Н10Б по ГОСТу 2246—60, а для стали 0Х21Н6М2Т — проволока Св-04Х19Н11МЗ по ГОСТу 2246—60. В качестве защитного газа применяется аргон марки Б или В по ГОСТу 10157—62.

В качестве электродов рекомендуются лантанированные вольфрамовые прутки по СТУ 45-ЦМ-1150—63.

10.5. СВАРКА ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ МАРОК 0Х18Н10Т, Х18Н10Т, 0Х18Н12Б, Х17Н13М2Т И Х17Н13М3Т

В табл. 10.12 приведены рекомендуемые типы сварных швов и способы их выполнения для аппаратов, изготовляемых из высоколегированных коррозионностойких сталей.

Таблица 10.12

Рекомендуемые типы сварных швов и способы их выполнения для аппаратов, изготовляемых из высоколегированных коррозионноустойчивых сталей (по ОН 26-01-71—68) *

Вид сварного соединения	Диаметр аппарата, мм	Толщина свариваемой стали, мм	Тип шва	Способ сварки
Стыковое листовых сталей (плоские листы и карты)	—	<2	Без скоса кромок, односторонний	Ручная аргоно-дуговая
		2—4	Без скоса кромок, двусторонний	Автоматическая аргоно-дуговая
		≥5	Без скоса кромок, двусторонний	Автоматическая под слоем флюса на флюсовой подушке
Прямолинейное стыковое (обечайка)	≤600	3—5	V-образный, со скосом двух кромок, односторонний	Ручная электродуговая
		5—6	Без скоса кромок, односторонний	Автоматическая под слоем флюса на флюсовой подушке
		8—24	V-образный, со скосом двух кромок, односторонний	
	800—3200	5—14	Без скоса кромок, двусторонний	Автоматическая под слоем флюса на флюсовой подушке или без нее
		14—24	V-образный, со скосом двух кромок, двусторонний	Автоматическая под слоем флюса с ручной подваркой корня шва
		24—50	X-образный, с двумя симметричными скосами двух кромок, двусторонний	Автоматическая под слоем флюса на флюсовой подушке
Кольцевое стыковое (обечайка)	600—1100	5—14	V-образный со скосом двух кромок (разделка с внутренней стороны аппарата), двусторонний	Автоматическая под слоем флюса с ручной подваркой шва со стороны скошенных кромок
		18—50	X-образная, с двумя несимметричными скосами двух кромок, двусторонний	Автоматическая под слоем флюса с ручной подваркой шва со стороны разделки с меньшей глубиной
	1100—3200	5—14	Без скоса кромок, двусторонний	Автоматическая под слоем флюса на флюсовой подушке или без нее
		14—24	V-образный, со скосом двух кромок, двусторонний	Автоматическая под слоем флюса с ручной подваркой корня шва
		24—50	X-образный, с двумя симметричными скосами двух кромок, двусторонний	Автоматическая под слоем флюса на флюсовой подушке
	Кольцевое (приварка днищ к обечайкам)	600—3200	5—14	V-образный, со скосом двух кромок (разделка с внутренней стороны аппарата), двусторонний	Автоматическая под слоем флюса с ручной подваркой шва со стороны скошенных кромок
18—50			X-образный, с двумя несимметричными скосами двух кромок, двусторонний	Автоматическая под слоем флюса с ручной подваркой шва со стороны разделки с меньшей глубиной

* При составлении таблицы использованы также рекомендации ведущих заводов химического машиностроения.

Ручная электродуговая сварка

Конструктивные элементы сварных соединений листовой высоколегированной и коррозионностойкой стали и размеры швов, выполняемых ручной электродуговой сваркой должны соответствовать данным табл. 10.2—10.5. Рекомендуемые электроды для ручной электродуговой сварки высоколегированной и коррозионностойкой стали приведены в табл. 6.2.

Автоматическая и полуавтоматическая сварка сталей марок 0X18H10T, X18H10T, X17H13M2T и X17H13M3T под слоем флюса

Нормалью ОН 26-01-71—68 рекомендуются следующие типы стыковых сварных швов, выполняемых автоматической сваркой под слоем флюса:

- без скоса кромок, двусторонние, с принудительным формированием корня шва;
- V-образные, со скосом двух кромок, односторонние с принудительным формированием корня шва и по ручной подварке;

в) V-образные, со скосом двух кромок, двусторонние, при ручной подварке противоположной стороны и после ручной подварки корня шва;

г) X-образные, с двумя симметричными и несимметричными скосами двух кромок, двусторонние после ручной подварки шва со стороны разделки с меньшей глубиной, после ручной подварки корня шва и со сваркой первого прохода «на весу».

Конструктивные элементы сварных соединений листовой стали и размеры швов, выполняемых автоматической и полуавтоматической сваркой под слоем флюса, должны соответствовать данным табл. 10.6—10.9. Рекомендуемые присадочная проволока и флюсы для автоматической и полуавтоматической сварки упомянутых марок сталей приведены в табл. 6.1.

Автоматическая аргоно-дуговая сварка стали 0X18H10T и X18H10T плавящимся электродом

Конструктивные элементы подготовки кромок стыковых соединений листовой стали приведены в табл. 10.13.

Таблица 10.13

Конструктивные элементы подготовки кромок стыковых соединений листовой стали марок 0X18H10T и X18H10T, выполняемых автоматической аргоно-дуговой сваркой плавящимся электродом (по ОН 26-01-71—68)

Тип шва	Эскиз	Обозначение на чертеже	Размеры, мм	
			<i>s</i>	<i>p</i>
V-образный, со скосами двух кромок		АЗ V	<i>s</i>	6
			<i>p</i>	1 ± 0,25
			α	40° ± 6°
X-образный, с двумя симметричными скосами двух кромок		АЗ X	<i>s</i>	25—40
			<i>p</i>	1,5 ± 0,25
			α	60° ± 4°

В качестве присадочного металла используется сварочная проволока марок Св-02X19H9 и Св-06X19H9T по ГОСТу 2246—60. Содержание углерода в проволоке должно быть не более 0,05%. В качестве защитного газа используется аргон марок А и Б по ГОСТу 10157—62 или гелий чистотой не менее 99,6%.

Ручная аргоно-дуговая сварка стали 0X18H10T и X18H10T неплавящимся электродом

Нормалью ОН 26-01-71—68 рекомендуется применять ручную аргоно-дуговую сварку неплавящимся электродом для сварки листовой стали толщиной от 0,5 до 8 мм.

Конструктивные элементы подготовки кромок стыковых соединений листовой стали приведены на рис. 10.1.

В качестве присадочного материала используется проволока марок Св-06X19H9T (с содержанием углерода не более 0,05%), Св-02X19H9, Св-04X19H9 и Св-08X19H10Б

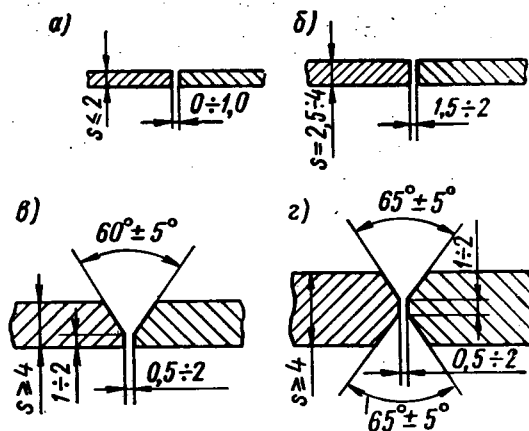


Рис. 10.1. Конструктивные элементы подготовки кромок листовой стали марок 0X18H10T и X18H10T, свариваемой ручной аргоно-дуговой сваркой неплавящимся (вольфрамовым) электродом: а и б — без скоса кромок; в — V-образная разделка кромок; г — X-образная разделка кромок

по ГОСТу 2246—60. В качестве защитного газа используется аргон марки А по ГОСТу 10157—62. Вольфрамовые электроды применяются по СТУ45-ЦМ-1150—63 или по ТУ ВМ-2-259—57.

10.6. СВАРКА ВЫСОКОЛЕГИРОВАННОЙ КОРРОЗИОННОСТОЙКОЙ СТАЛИ МАРКИ 0X17H16M3T

Ручная аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом

Нормалью ОН 26-01-71—68 рекомендуется применять ручную аргоно-дуговую сварку неплавящимся электродом для сварки листовой стали толщиной до 10 мм.

Конструктивные элементы подготовки кромок стыковых соединений листовой стали приведены на рис. 10.2.

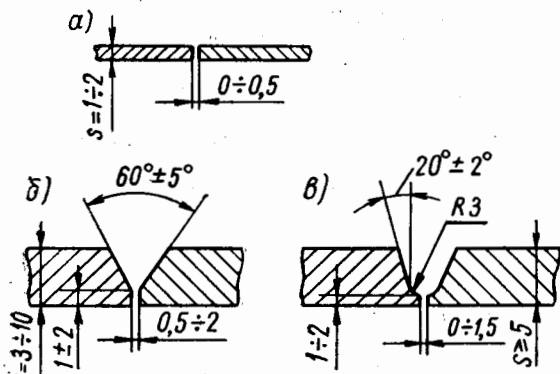


Рис. 10.2. Конструктивные элементы подготовки кромок листовой стали марки 0X17H16M3T, свариваемой ручной аргоно-дуговой сваркой неплавящимся (вольфрамовым) электродом: а — без разделки кромок; б — V-образная разделка кромок; в — V-образная разделка с криволинейным скосом кромок

В качестве присадочного материала рекомендуется сварочная проволока марок 000X17H14M2 по ЧМТУ/ЦНИИЧМ 1352—65 (с изм. № 1) и для коррозионных сред, не вызывающих структурно-избирательную коррозию, — проволока Св-04X19H11M3 по ГОСТу 2246—60. В качестве защитного газа используется аргон чистый марки А по ГОСТу 10157—62.

Ручная электродуговая сварка

Нормалью ОН 26-01-71—68 рекомендуется применять следующие типы швов стыковых соединений листовой стали марки 0X17H16M3T, выполняемых ручной электродуговой сваркой: при толщине металла $s = 2 \div 3$ мм — односторонний без скоса кромок; при $s = 4$ мм — двусторонний без скоса кромок; при $s = 4 \div 20$ мм — с V-образной разделкой кромок и при $s = 10 \div 20$ мм — с криволинейным скосом при V-образной разделке кромок.

Конструктивные элементы подготовки кромок стыковых соединений листовой стали должны соответствовать данным табл. 10.2. Рекомендуемые электроды приведены в табл. 6.2.

10.7. СВАРКА ВЫСОКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ МАРКИ 0X23H28M3Д3T

Ручная, автоматическая и полуавтоматическая аргоно-дуговая сварка

Конструктивные элементы подготовки кромок стыковых соединений листовой стали, выполняемых ручной аргоно-дуговой сваркой, должны соответствовать данным, приведенным в табл. 10.2, а выполняемых полуавтоматической и автоматической сваркой — данным рис. 10.3.

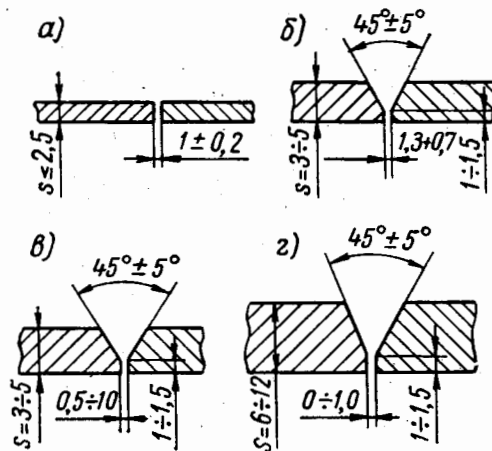


Рис. 10.3. Конструктивные элементы подготовки кромок листовой стали марки 0X23H28M3Д3T, свариваемой полуавтоматической и автоматической аргоно-дуговой сваркой: а — без разделки кромок и б — V-образная разделка кромок при полуавтоматической сварке; в и г — V-образная разделка кромок при автоматической сварке

В качестве присадочного материала для ручной автоматической и полуавтоматической аргоно-дуговой сварки применяется проволока, по химическому составу близкая к основному металлу. Для полуавтоматической сварки применяется проволока диаметром 1,0—1,6 мм, для автоматической — 2—3 мм.

Автоматическую сварку под слоем флюса листовой стали марки 0X23H28M3Д3T толщиной до 14 мм рекомендуется выполнять проволокой марки 0X23H28M3Д3T с содержанием кремния не более 0,45% или проволокой 000X23H28M3Д3T в сочетании с флюсом АН-18.

Ручная электродуговая сварка

Конструктивные элементы разделки кромок стыковых соединений листовой стали, выполняемых ручной электродуговой сваркой, должны соответствовать данным табл. 10.2. Рекомендуемые электроды приведены в табл. 6.2.

10.8. СВАРКА ВЫСОКОПРОЧНОЙ СТАЛИ X16H6

Ручная электродуговая сварка

Конструктивные элементы разделки кромок стыковых соединений листовой стали, выполняемых ручной электродуговой сваркой, приведены на рис. 10.4.

Сварка осуществляется электродами ХВ-1, изготовляемыми из проволоки марки Х16Н6 диаметром 3—4 мм с применением электродного покрытия следующего состава:

Наименование компонентов	ГОСТ или ТУ	Содержание в массовых процентах
Доломит	МПУ 2660—58	32,5
Шпат плавиковый	ГОСТ 4421—48	10,0
Двуокись титана	ТУ МХП 1420—52	24,0
Барий фтористый	ГОСТ 7168—65	20,0
Ферросилиций Си45	ГОСТ 1415—61	8,0
Молибден металлический (порошок)	ВМ4-240—54 или ВМ7-153—54	5,5
Силикат натрия электродный (раствор)		30,0 (к массе сухой шихты)

Сварные соединения стали Х16Н6 для повышения прочностных свойств и для предотвращения склонности их к межкристаллитной коррозии подлежат обязательной термической обработке: закалке с 1000° С в воде, обработка холодом при температуре —70° С с выдержкой в течение 2 ч и старение при температуре 400° С с выдержкой в течение 1 ч.

Ручная аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом

Листовая сталь толщиной до 3 мм сваривается встык без скоса кромок, сталь толщиной более 3 мм — с при-

менением V-образной и X-образной разделок кромок соответственно рис. 10.4.

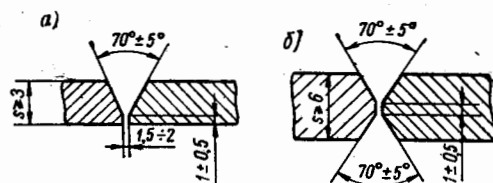


Рис. 10.4. Конструктивные элементы подготовки кромок листовой стали марок Х16Н6, свариваемой ручной электродуговой сваркой: а — V-образная разделка кромок; б — X-образная разделка кромок

10.9. СВАРКА ДВУХСЛОЙНЫХ СТАЛЕЙ С КОРРОЗИОННОСТОЙКИМ СЛОЕМ ИЗ СТАЛИ МАРОК 0Х13, 0Х18Н10Т, Х17Н13М И 0Х17Н16МЗТ

Автоматическая сварка основного и коррозионностойкого слоев

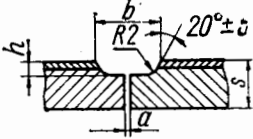
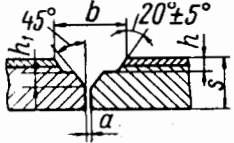
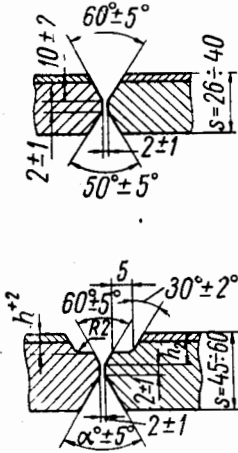
Автоматическая сварка основного и коррозионностойкого слоев является наиболее производительным способом сварки стыковых соединений листовой двухслойной стали толщиной от 8 до 40 мм.

Конструктивные элементы подготовки кромок стыковых соединений листовой двухслойной стали, выполняемых автоматической сваркой основного и коррозионностойкого слоев, приведены в табл. 10.14. Рекомендуемые присадочные материалы приведены в табл. 6.6 и 6.7.

Таблица 10.14

Конструктивные элементы подготовки кромок стыковых соединений листовой двухслойной стали, выполняемых автоматической сваркой основного и коррозионностойкого слоев (по ОН 26-01-71—68)

Тип шва	Эскиз	Количество проходов при сварке	Размеры, мм		
			s	a	b
Без скоса кромок основного слоя, двусторонний		1	8	10—12	14—16
			1,0—1,5	1,5—2,0	2—3
			17,0—19,5	19,5—22,0	22—25
			3±0,5	3+1	4±0,5
С V-образным скосом кромок основного слоя со стороны коррозионностойкого слоя, двусторонний		1	18—20	22—26	
			2,5—3,5	3—4	
			24,5—27,5	27—30	
			4+1	5±0,5	
			5±0,5	6±0,5	

Тип шва	Эскиз	Количество проходов при сварке	Размеры, мм																												
<p>Без скоса кромок основного слоя, двусторонний</p>		2	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>8</td> <td>10—12</td> <td colspan="2">14—16</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>1—2</td> <td>1—2</td> <td colspan="2">1,5—2,5</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>19,0—21,0</td> <td>19,0—22,0</td> <td colspan="2">21,5—24,5</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>3⁺¹</td> <td>4±0,5</td> <td colspan="2">5±0,5</td> </tr> </table>				s	8	10—12	14—16		a	1—2	1—2	1,5—2,5		b	19,0—21,0	19,0—22,0	21,5—24,5		h	3 ⁺¹	4±0,5	5±0,5						
s	8		10—12	14—16																											
a	1—2	1—2	1,5—2,5																												
b	19,0—21,0	19,0—22,0	21,5—24,5																												
h	3 ⁺¹	4±0,5	5±0,5																												
<p>С V-образным скосом кромок основного слоя со стороны коррозионностойкого слоя, двусторонний</p>		2	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>18—20</td> <td>22—26</td> <td>28—32</td> <td>34—40</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>2—3</td> <td>2—3</td> <td>3—4</td> <td>3—5</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>24—27</td> <td>26—29</td> <td>29—32</td> <td>30—34</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>5⁺¹</td> <td>6±0,5</td> <td>6⁺¹</td> <td>7±0,5</td> </tr> <tr> <td>h₁</td> <td>5±0,5</td> <td>6±0,5</td> <td>6±1</td> <td>7±0,5</td> </tr> </table>				s	18—20	22—26	28—32	34—40	a	2—3	2—3	3—4	3—5	b	24—27	26—29	29—32	30—34	h	5 ⁺¹	6±0,5	6 ⁺¹	7±0,5	h ₁	5±0,5	6±0,5	6±1	7±0,5
s	18—20		22—26	28—32	34—40																										
a	2—3	2—3	3—4	3—5																											
b	24—27	26—29	29—32	30—34																											
h	5 ⁺¹	6±0,5	6 ⁺¹	7±0,5																											
h ₁	5±0,5	6±0,5	6±1	7±0,5																											
<p>X-образный с двумя несимметричными скосами двух кромок, двусторонний</p>		—	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td colspan="2">45—50</td> <td colspan="2">55—60</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td colspan="2">7±1</td> <td colspan="2">8±1</td> </tr> <tr> <td>h₂</td> <td colspan="2">22±2</td> <td colspan="2">25±2</td> </tr> <tr> <td>α</td> <td colspan="2">50°</td> <td colspan="2">60°</td> </tr> </table>				s	45—50		55—60		h	7±1		8±1		h ₂	22±2		25±2		α	50°		60°						
s	45—50		55—60																												
h	7±1		8±1																												
h ₂	22±2		25±2																												
α	50°		60°																												

Автоматическая сварка основного слоя и ручная электродуговая сварка коррозионностойкого слоя

Конструктивные элементы подготовки кромок стыковых соединений листовой двухслойной стали, выпол-

няемых автоматической сваркой основного слоя и ручной электродуговой сваркой коррозионностойкого слоя, приведены в табл. 10.15.

Рекомендуемые присадочные материалы и электроды приведены в табл. 6.6 и 6.5.

Таблица 10.15

Конструктивные элементы подготовки кромок стыковых соединений листовой двухслойной стали, выполняемых автоматической сваркой основного слоя и ручной электродуговой сваркой коррозионностойкого слоя (по ОН 26-01-71-68)

Тип шва	Эскиз	Размеры, мм							
		s	8	10	12	14	16	18	20
V-образный со скосом двух кромок, двусторонний		h	4	5	6	7	8	9	10
		alpha	90°		80°		70°		60°
		s	20-26		28-30		34-40		
X-образный с двумя скосами двух кромок, двусторонний		h	12		14		16		
		alpha	60°		50°				
		s	20-26		28-30		34-40		

Ручная сварка основного и коррозионностойкого слоев

Конструктивные элементы подготовки кромок стыковых соединений листовой двухслойной стали, выполняе-

мых ручной электродуговой сваркой основного и коррозионностойкого слоев, приведены в табл. 10.16.

Рекомендуемые электроды приведены в табл. 6.4 и 6.5.

Таблица 10.16

Конструктивные элементы подготовки кромок стыковых соединений листовой двухслойной стали, выполняемых ручной электродуговой сваркой основного и коррозионностойкого слоев (по ОН 26-01-71-68)

Тип шва	Эскиз	Размеры, мм					
		s	8-10	12-14	16-20		
V-образный со скосом двух кромок, двусторонний		p	1		1,5		
		alpha	70°		60°	50°	
		s	20-26		28-32		34-40
X-образный с двумя скосами двух кромок, двусторонний		p	2		2,5	3	
		s	20-26		28-32		34-40
		s	20-26		28-32		34-40

10.10. СВАРКА СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБ ИЗ УГЛЕРОДИСТОЙ И ВЫСОКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ ПРИ УСЛОВНОМ ИЗБЫТОЧНОМ ДАВЛЕНИИ ДО 10 Мн/м² (100 кгс/см²)

Газовая и ручная электродуговая сварки труб из сталей марок 10 и 20 и низколегированной стали марки 10Г2

Конструктивные элементы подготовки кромок стыковых соединений труб из сталей марок 10, 20 и 10Г2 и размеры швов, выполняемых газовой и ручной электродуговой сваркой, приведены в табл. 10.17.

Таблица 10.17

Конструктивные элементы подготовки кромок стыковых соединений труб из сталей марок 10, 20 и 10Г2 и размеры швов, выполняемых газовой и ручной электродуговой сваркой (по ГОСТу 5264—58 и [181])

Тип шва	Эскиз	Способ сварки	Обозначение на чертеже	Размеры, мм																														
Без скоса кромок, односторонний		Газовая	Г II	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>1</td> <td>2-2,5</td> <td>3</td> <td>3,5</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>0,5^{+0,5}</td> <td>1^{+0,5} -1,0</td> <td colspan="3">1,5±1</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>4⁺²</td> <td>6⁺²</td> <td>8±4</td> <td colspan="2">10±4</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>0⁺¹</td> <td>0^{+1,5}</td> <td colspan="3">0⁺²</td> </tr> </table>	s	1	2-2,5	3	3,5	4	a	0,5 ^{+0,5}	1 ^{+0,5} -1,0	1,5±1			b	4 ⁺²	6 ⁺²	8±4	10±4		h	0 ⁺¹	0 ^{+1,5}	0 ⁺²								
s	1			2-2,5	3	3,5	4																											
a	0,5 ^{+0,5}	1 ^{+0,5} -1,0	1,5±1																															
b	4 ⁺²	6 ⁺²	8±4	10±4																														
h	0 ⁺¹	0 ^{+1,5}	0 ⁺²																															
V-образная со скосом двух кромок, односторонний		Ручная электродуговая	Г V	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>4,5-5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>1,5^{+0,5}</td> <td colspan="4">2±1</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>16±4</td> <td>17±4</td> <td>18±4</td> <td>19±4</td> <td>20±5</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td colspan="3">0^{+1,5}</td> <td colspan="2">0⁺²</td> </tr> <tr> <td>p</td> <td colspan="5">1,5^{+1,0} -0,5</td> </tr> </table>	s	4,5-5	6	7	8	9	a	1,5 ^{+0,5}	2±1				b	16±4	17±4	18±4	19±4	20±5	h	0 ^{+1,5}			0 ⁺²		p	1,5 ^{+1,0} -0,5				
s	4,5-5			6	7	8	9																											
a	1,5 ^{+0,5}	2±1																																
b	16±4	17±4	18±4	19±4	20±5																													
h	0 ^{+1,5}			0 ⁺²																														
p	1,5 ^{+1,0} -0,5																																	
			P V	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>3-4</td> <td>5-8</td> <td>10-20</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>1±1</td> <td colspan="2">2±1</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td colspan="2">s⁺¹¹</td> <td>s⁺¹³</td> </tr> <tr> <td>h</td> <td>0⁺²</td> <td>0⁺³</td> <td>0⁺⁴</td> </tr> <tr> <td>p</td> <td colspan="2">1^{+0,5}</td> <td>2±1</td> </tr> </table>	s	3-4	5-8	10-20	a	1±1	2±1		b	s ⁺¹¹		s ⁺¹³	h	0 ⁺²	0 ⁺³	0 ⁺⁴	p	1 ^{+0,5}		2±1										
s	3-4	5-8	10-20																															
a	1±1	2±1																																
b	s ⁺¹¹		s ⁺¹³																															
h	0 ⁺²	0 ⁺³	0 ⁺⁴																															
p	1 ^{+0,5}		2±1																															
<p>Примечание. После газовой сварки швов с V-образной разделкой кромок необходима проковка швов.</p>																																		

Ручная электродуговая и аргоно-дуговая
сварки труб из стали марок X18H10T,
0X18H12B и X17H13M2T

Конструктивные элементы подготовки кромок стыковых соединений труб, выполняемых ручной электродуговой сваркой, должны соответствовать данным

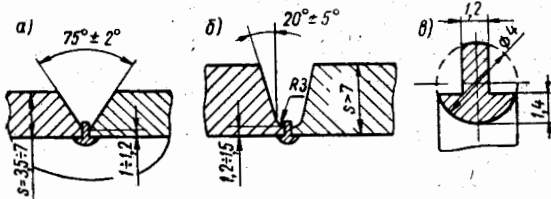


Рис. 10.5. Конструктивные элементы подготовки кромок стыковых соединений труб из стали X18H10T, 0X18H12B и X17H13M2T, выполняемых ручной аргонодуговой сваркой с расходными вставками (по ОН 26-01-71-68): а — V-образная разделка кромок; б — V-образная разделка кромок с криволинейным скосом; в — профиль расходного кольца

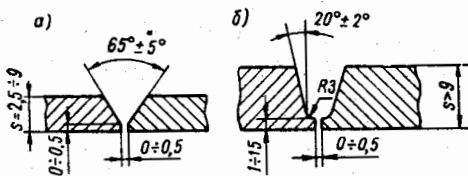


Рис. 10.6. Конструктивные элементы подготовки кромок стыковых соединений труб из стали X18H10T, 0X18H12B и X17H13M2T, свариваемых стык ручной аргонодуговой сваркой (по ОН 26-01-71-68): а — V-образная разделка кромок; б — V-образная разделка кромок с криволинейным скосом

табл. 10.17, а ручной аргоно-дуговой сваркой — рис. 10.5 (при сварке с расходными вставками) и рис. 10.6 (при сварке без расходных вставок).

10.11. СВАРКА СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБ,
РАБОТАЮЩИХ ПРИ УСЛОВНОМ ИЗБЫТОЧНОМ
ДАВЛЕНИИ ОТ 10 ДО 100 Мн/м² (от 100 до 1000 кгс/см²)
И ТЕМПЕРАТУРЕ ОТ -50 ДО +510°С

На сварку трубопроводов, работающих при условном избыточном давлении от 10 до 100 Мн/м² (от 100 до 1000 кгс/см²) и температуре от -50 до +510°С, распространяется действие МРТУ 26-01-9-67. Технические условия распространяются на сварку кольцевых поворотных и неповоротных стыковых соединений труб и деталей внутрицевых и заводских трубопроводов с диаметром условного прохода $D_y \leq 200$ мм включительно из углеродистых, низколегированных и высоколегированных коррозионностойких аустенитных сталей, транспортирующих жидкие и газообразные, в том числе агрессивные, пожаро- и взрывоопасные среды. Указанные технические условия распространяются также на вварку переходных штуцеров с диаметром условного прохода $D_y \leq 40$ мм из углеродистых и высоколегированных коррозионностойких аустенитных сталей в стенку труб с диаметром условного прохода $D_y \leq 200$ мм, работающих под давлением от 10 до 32 Мн/м² (от 100 до 320 кгс/см²) и температуре от -50 до +200°С.

Техническими условиями регламентируются конструктивные элементы подготовки кромок стыковых соединений трубопроводов из углеродистой, низколегированной и высоколегированной сталей, технология различных способов сварки и рекомендуются для соответствующих сталей и способов их сварки присадочные материалы (электроды, сварочная проволока, флюсы, инертные газы и пр.).

В табл. 10.18 приводятся конструктивные элементы подготовки кромок стыковых соединений труб, выполняемых ручной электродуговой, автоматической и полуавтоматической сваркой под слоем флюса, в табл. 10.19 — автоматической и полуавтоматической сваркой в среде инертных газов.

Рекомендуемые электроды и присадочные материалы приведены в табл. 6.10, 6.11 и 6.13.

В табл. 10.20 приведены механические свойства сварных соединений труб, которые должны быть обеспечены при любом способе сварки, в табл. 10.21 — температурные условия выполнения сварки трубопроводов высокого давления и в табл. 10.22 — рекомендуемые режимы термической обработки сварных соединений трубопроводов, выполняемых различными способами сварки.

Таблица 10.18

Конструктивные элементы подготовки кромок стыковых соединений труб из сталей марок 20, 15ХМ, 30ХМА, 18ХЗМВ, Х5М, 14ХГС, 18ХГ, 20ХЗМВФ, 0X18H10T, X18H10T, X17H13M3T, 0X17H16M3T и 0X23H18, выполняемых ручной электродуговой, автоматической и полуавтоматической сваркой под слоем флюса (по МРТУ 26-01-9-67)

Тип шва	Эскиз	Способ сварки	Размеры, мм			
V-образный со скосами двух кромок, односторонний вертикальный		Ручная электродуговая	s	3,5—7	7—12	12—28
			a	1—2	1,5—2	2—2,5
			p	1—1,5	1,5—2	

Тип шва	Эскиз	Способ сварки	Размеры, мм																
V-образный с криволинейными скосом двух кромок, односторонний вертикальный		Ручная электродуговая, автоматическая и полуавтоматическая по ручной подварке	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>>28</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>2—2,5</td> </tr> </table>	s	>28	a	2—2,5												
s	>28																		
a	2—2,5																		
V-образный со скосами двух кромок, односторонний с остающейся стальной подкладкой, вертикальный		Ручная электродуговая	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td><12</td> <td>12—28</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>3—4</td> <td>6—8</td> </tr> <tr> <td>α</td> <td>33° ± 2°</td> <td>13° ± 2°</td> </tr> </table>	s	<12	12—28	a	3—4	6—8	α	33° ± 2°	13° ± 2°							
s	<12		12—28																
a	3—4	6—8																	
α	33° ± 2°	13° ± 2°																	
V-образный с криволинейным скосом двух кромок, односторонний на остающейся стальной подкладке, вертикальный		Автоматическая и полуавтоматическая	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>>28</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>6—8</td> </tr> <tr> <td>p</td> <td>1,5—2</td> </tr> </table>	s	>28	a	6—8	p	1,5—2										
s	>28																		
a	6—8																		
p	1,5—2																		
			<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>>28</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>3—4</td> </tr> <tr> <td>p</td> <td>1,5—2</td> </tr> </table>	s	>28	a	3—4	p	1,5—2										
s	>28																		
a	3—4																		
p	1,5—2																		
V-образный со скосом одной кромки, односторонний, горизонтальный		Ручная электродуговая	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>3,5—7</td> <td>7—12</td> <td>12—28</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>1—2</td> <td>1,5—2</td> <td>2—2,5</td> </tr> <tr> <td>p</td> <td>1—2</td> <td>1,5—2</td> <td></td> </tr> </table>	s	3,5—7	7—12	12—28	a	1—2	1,5—2	2—2,5	p	1—2	1,5—2					
s	3,5—7		7—12	12—28															
a	1—2	1,5—2	2—2,5																
p	1—2	1,5—2																	
V-образный с криволинейным скосом двух кромок, односторонний, горизонтальный			<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>>28</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>0,2</td> </tr> <tr> <td>p</td> <td>0,5—1,5</td> </tr> </table>	s	>28	a	0,2	p	0,5—1,5										
s	>28																		
a	0,2																		
p	0,5—1,5																		
V-образный со скосами двух кромок, односторонний, на остающейся стальной подкладке, горизонтальный			<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td><12</td> <td>12—28</td> <td>>28</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>3—4</td> <td>5—7</td> <td>6—8</td> </tr> <tr> <td>α</td> <td>55° ± 2°</td> <td>30° ± 2°</td> <td></td> </tr> <tr> <td>β</td> <td>0°</td> <td>10° ± 2°</td> <td></td> </tr> </table>	s	<12	12—28	>28	a	3—4	5—7	6—8	α	55° ± 2°	30° ± 2°		β	0°	10° ± 2°	
s	<12	12—28	>28																
a	3—4	5—7	6—8																
α	55° ± 2°	30° ± 2°																	
β	0°	10° ± 2°																	

Примечания:

1. Форма и размеры подкладных колец устанавливаются при конструировании.

2. Для газовой сварки выполняется V-образная разделка кромок с общим углом раскрытия $\alpha = 70 \pm 90^\circ$, притуплением $p = 0,5 \div 1,0$ мм и зазором $a = 1 \div 1,5$ мм.

Рекомендуемые режимы термической обработки сварных соединений стальных трубопроводов, работающих при условном избыточном давлении от 10 до 100 Мн/м^2 (от 100 до 1000 кгс/см^2) и температуре от -50 до $+510^\circ\text{C}$ (по МРТУ 26-01-9-67)

Марка свариваемой стали	Вид термообработки	Температура нагрева, $^\circ\text{C}$	Время выдержки в зависимости от толщины s стенки трубы	Условия охлаждения
20	Отпуск	600—650	3 мин на 1 мм толщины стенки	До 300°C со скоростью $\leq 200^\circ\text{C/ч}$ с печью или под слоем асбеста, далее на спокойном воздухе
14ХГС; 18ХГ		630—650		На воздухе
15ХМ		680—700		До 300°C со скоростью $\leq 150^\circ\text{C/ч}$ с печью или под слоем асбеста, далее на спокойном воздухе
30ХМА; Х5М		650—670		До 300°C со скоростью $\leq 100^\circ\text{C/ч}$ с печью или под слоем асбеста, далее на спокойном воздухе
18Х3МВ	Нормализация	950—970	1 ч при $s \leq 20$ мм; 2 » » $s > 20$ »	На воздухе
	Отпуск	670—690		До 200°C со скоростью $\leq 70^\circ\text{C/ч}$ с печью или под слоем асбеста, далее на спокойном воздухе
20Х3МВФ	Нормализация	1000—1020	1 ч при $s \leq 20$ мм; 2 » » $s > 20$ »	На воздухе
	Отпуск	690—710		2,5 ч
0Х18Н10Т; Х18Н10Т	Стабилизирующий отжиг	850—870	3 ч	На воздухе
Х17Н13М2Т; Х17Н13М3Т; 0Х17Н16М3Т; 0Х23Н18	Аустенизация	1050—1080	1,5 ч	

Примечания:

1. Скорость нагрева стыков при термообработке устанавливается в соответствии с технологией, принятой на заводе или в монтажной организации.
2. Нормализация с отпуском производится: а) для сталей марок 18Х3МВ и 20Х3МВФ, предназначенных для работы в водородосодержащих средах; б) для стали 20Х3МВФ, предназначенной для работы при температурах $401-510^\circ\text{C}$.
3. Обязательной термообработке подлежат сварные стыки трубопроводов из стали марки 20 при толщине стенки свыше 35 мм и при толщине стенки от 17 до 35 мм при разнице в твердости основного и наплавленного металла более $H\text{В}25$, а также сварные стыки трубопроводов из сталей марок 14ХГС, 18ХГ, 15ХМ, 30ХМА, Х5М, 18Х3МВ и 20Х3МВФ.
4. Необходимость термообработки трубопроводов из сталей 0Х18Н10Т, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т, Х17Н13М3Т, 0Х17Н16М3Т и 0Х23Н18 должна быть обоснована при проектировании.

10.12. СВАРКА АЛЮМИНИЯ МАРОК А7, А6, А5 И АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ МАРОК АД00, АД0, АД1 И АМцС

Автоматическая сварка под слоем флюса

Автоматическая сварка алюминия и его сплавов под слоем флюса является высокопроизводительным процессом, широко применяемым при изготовлении химической аппаратуры. Этим методом целесообразно сваривать без разделки кромок прямолинейные стыки листового материала толщиной 10—32 мм при диаметре обечаек свыше 1200 мм и длине более 1000 мм и кольцевые стыки при диаметре обечаек более 1600 мм. Конструктивные элементы подготовки кромок листового металла под сварку приведены в табл. 10.23. Рекомендуемая присадочная проволока и флюсы для автоматической сварки алюминия и его сплавов под слоем флюса приведены в табл. 6.14.

Автоматическая и полуавтоматическая аргоно-дуговая сварки плавящимся электродом

Аргоно-дуговая сварка алюминия и его сплавов является универсальным и прогрессивным сварочным процессом, обеспечивающим получение качественных сварных соединений с высокими показателями механических свойств. Аргоно-дуговая сварка является вместе с тем и высокопроизводительным процессом, позволяющим производить сварку листового материала и труб различной толщины от 0,3 мм и выше. При этом можно получить любые типы сварных соединений — стыковые, угловые, тавровые и внахлестку. Сварка выполняется с предварительным подогревом металла в зависимости от толщины до температуры 150—300° С.

Конструктивные элементы подготовки кромок листового металла под сварку приведены в табл. 10.23. Присадочная проволока применяется того же химического состава, что и основной металл, или же более чистая. Для сварки алюминия и его сплавов применяется аргон марки А по ГОСТу 10157—62.

Автоматическая аргоно-дуговая сварка расщепленной дугой

Сущность этого способа сварки состоит в том, что в зону сварки поперек оси шва одновременно подаются две электродные проволоки, имеющие общий токоподвод.

Конструктивные элементы подготовки кромок листового металла под сварку приведены в табл. 10.23. Присадочная проволока применяется марки А5С по ГОСТу 7871—63. Для сварки алюминия расщепленной дугой рекомендуется применять флюс АН-А1.

Аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом

Конструктивные элементы подготовки кромок листового металла под сварку приведены в табл. 10.23.

Присадочная проволока применяется того же химического состава, что и основной металл, или же более чистая. Вольфрамовые электроды применяются по СТУ45-ЦМ-1150—63. В качестве инертного газа рекомендуется аргон марки А по ГОСТу 10157—62.

Ручная электродуговая сварка

Ручная электродуговая сварка алюминия и сплава АМцС в химическом аппаратостроении применяется ограниченно вследствие низкого качества сварных швов (главным образом пористости их), сложности расчета состава электродных покрытий и технологии изготовления электродов. Качество сварных швов во многом зависит от квалификации сварщика. Ручную электродуговую сварку используют лишь при отсутствии сварочного оборудования для автоматической сварки под слоем флюса или для аргоно-дуговой сварки плавящимся или неплавящимся электродом.

Конструктивные элементы подготовки кромок листового материала под сварку приведены в табл. 10.23. Рекомендуемые электроды приведены в табл. 6.15.

Газовая сварка

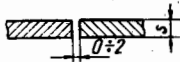

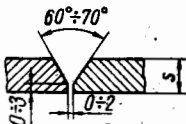
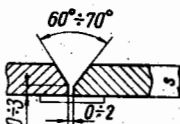
Газовая (ацетиленовая) сварка алюминия и его сплавов в силу присущих ей недостатков в настоящее время почти повсеместно вытеснена другими более совершенными и производительными сварочными процессами. Ее применяют лишь при отсутствии оборудования для других видов сварки, а также при ремонте и монтаже аппаратуры и трубопроводов на химических комбинатах.

Конструктивные элементы подготовки кромок листового металла под сварку приведены в табл. 10.24. Рекомендуемая сварочная проволока приведена в табл. 6.16.


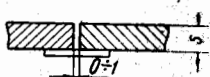
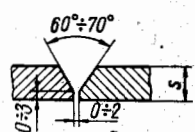
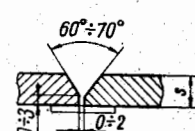
Таблица 10.23

Конструктивные элементы подготовки кромок листового алюминия марок А7, А6, А5 и алюминиевых сплавов марок АД00, АД0, АД1, АМцС под сварку и способы сварки (по ОН 26-01-71—68)

Вид сварного соединения	Тип шва	Эскиз	Обозначение на чертеже	Толщина листового материала s, мм	Способы сварки
Стыковое	С отбортовкой, одно- сторонний		З]] АЗ]]	0,8—3	Ручная и автоматическая аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом
	Без скоса кромок, односторонний		З]] АЗ]]	3—10	Ручная и автоматическая аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом

Вид сварного соединения	Тип шва	Эскиз	Обозначение на чертеже	Толщина листового материала s , мм	Способы сварки
Стыковое	Без скоса кромок, односторонний		ПЗ ] [	4—12	Полуавтоматическая аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом
			АЗ ] [	4—20	Автоматическая аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом
			] [	6—32	Ручная электродуговая сварка
			А ] [	10—32	Автоматическая сварка под слоем флюса
			АЗ ] [	12—20	Автоматическая аргоно-дуговая сварка расщепленной дугой (двумя плавящимися электродами)
	Без скоса кромок, односторонний с подкладкой		З] [; АЗ ] [	0,8—5	Ручная и автоматическая аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом
			ПЗ ] [	4—8	Полуавтоматическая аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом
			АЗ ] [	4—12	Автоматическая аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом
			] [	6—10	Ручная электродуговая сварка
	V-образный со скосом двух кромок, двусторонний		З √ ; АЗ √	3—30	Ручная и автоматическая аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом
			АЗ √ ПЗ √	6—30	Автоматическая и полуавтоматическая аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом
			√	20—60	Ручная электродуговая сварка
А √			30—60	Автоматическая сварка расщепленной дугой (двумя плавящимися электродами)	
V-образный со скосом двух кромок, односторонний на подкладке		З √ АЗ √	3—30	Ручная и автоматическая аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом	
		АЗ √ ПЗ √	6—30	Автоматическая и полуавтоматическая аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом	
		А √	30—60	Автоматическая сварка расщепленной дугой (двумя плавящимися электродами)	

Вид сварного соединения	Тип шва	Эскиз	Обозначение на чертеже	Толщина листового материала s, мм	Способы сварки
Стыковое	Х-образный с двумя скосами двух кромок, двусторонний		ЗХ	5—40	Ручная аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом
			АЗХ; ПЗХ	20—40	Автоматическая и полуавтоматическая аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом
			АЗХ		Автоматическая аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом
			Х	35—60	Ручная электродуговая сварка
			АЗХ	40—60	Автоматическая аргоно-дуговая сварка расщепленной дугой (двумя плавящимися электродами)
Стыковое	V-образный с двумя криволинейными скосами двух кромок, двусторонний		ЗХ; АЗХ	30—60	Ручная и автоматическая аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом
			АЗХ; ПЗХ		Автоматическая и полуавтоматическая аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом
			АЗХ		Автоматическая аргоно-дуговая сварка расщепленной дугой (двумя плавящимися электродами)
Тавровые	Без скоса кромок односторонний и двусторонний		ЗΔ; АЗΔ	0,8—20	Ручная и автоматическая аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом
			АЗΔ; АЗΔ		Автоматическая и полуавтоматическая аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом
	ПЗΔ; ПЗΔ	Ручная электродуговая сварка			
	Δ; Δ				
Тавровые	С двумя скосами одной кромки, двусторонний		ЗК; АЗК	12—60	Ручная и автоматическая аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом
			АЗК; ПЗК		Автоматическая и полуавтоматическая аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом
			АЗК	50—60	Автоматическая аргоно-дуговая сварка расщепленной дугой (двумя плавящимися электродами)
Внахлестку	Без скоса кромок, двусторонний		ЗΔ; АЗΔ	0,8—20	Ручная и автоматическая аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом
			АЗΔ		Автоматическая аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом
			ПЗΔ	0,8—36	Полуавтоматическая аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом

Вид сварного соединения	Тип шва	Эскиз	Обозначение на чертеже	Толщина листового материала s , мм	Способы сварки
Стыковое	Без скоса кромок, односторонний		ПЗ ] [	4—12	Полуавтоматическая аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом
			АЗ ] [	4—20	Автоматическая аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом
			] [	6—32	Ручная электродуговая сварка
			А ] [	10—32	Автоматическая сварка под слоем флюса
			АЗ ] [	12—20	Автоматическая аргоно-дуговая сварка расщепленной дугой (двумя плавящимися электродами)
	Без скоса кромок, односторонний с подкладкой		З] [; АЗ ] [	0,8—5	Ручная и автоматическая аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом
			ПЗ ] [	4—8	Полуавтоматическая аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом
			АЗ ] [	4—12	Автоматическая аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом
			] [	6—10	Ручная электродуговая сварка
	V-образный со скосом двух кромок, двусторонний		З V ; АЗ V	3—30	Ручная и автоматическая аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом
			АЗ V ПЗ V	6—30	Автоматическая и полуавтоматическая аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом
			V	20—60	Ручная электродуговая сварка
			А V	30—60	Автоматическая сварка расщепленной дугой (двумя плавящимися электродами)
	V-образный со скосом двух кромок, односторонний на подкладке		З V АЗ V	3—30	Ручная и автоматическая аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом
			АЗ V ПЗ V	6—30	Автоматическая и полуавтоматическая аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом
			А V	30—60	Автоматическая сварка расщепленной дугой (двумя плавящимися электродами)

Вид сварного соединения	Тип шва	Эскиз	Обозначение на чертеже	Толщина листового материала s , мм	Способы сварки
Стыковое	Х-образный с двумя скосами двух кромок, двусторонний		ЗХ	5—40	Ручная аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом
			АЗХ; ПЗХ	20—40	Автоматическая и полуавтоматическая аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом
			АЗХ		Автоматическая аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом
			Х	35—60	Ручная электродуговая сварка
			АЗХ	40—60	Автоматическая аргоно-дуговая сварка расщепленной дугой (двумя плавящимися электродами)
	V-образный с двумя криволинейными скосами двух кромок, двусторонний		ЗХ; АЗХ		Ручная и автоматическая аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом
			АЗХ; ПЗХ	30—60	Автоматическая и полуавтоматическая аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом
			АЗХ		Автоматическая аргоно-дуговая сварка расщепленной дугой (двумя плавящимися электродами)
Тавровые	Без скоса кромок односторонний и двусторонний		ЗΔ; АЗΔ		Ручная и автоматическая аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом
			АЗΔ; АЗΔ; ПЗΔ; ПЗΔ	0,8—20	Автоматическая и полуавтоматическая аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом
	С двумя скосами одной кромки, двусторонний		ЗК; АЗК	12—60	Ручная и автоматическая аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом
			АЗК; ПЗК	50—60	Автоматическая и полуавтоматическая аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом
Внахлестку	Без скоса кромок, двусторонний		ЗΔ; АЗΔ	0,8—20	Ручная и автоматическая аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом
			АЗΔ		Автоматическая аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом
			ПЗΔ	0,8—36	Полуавтоматическая аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом

Конструктивные элементы подготовки кромок листового алюминия под газовую сварку
(по ОН 26-01-71-68)

Тип шва	Эскиз	Обозначение на чертеже	Размеры, мм																					
Без скоса кромок, двусторонний		Г	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>1,5</td> <td>2</td> <td>3-4</td> <td>6</td> <td>8-12</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>1,0</td> <td>1,5</td> <td>2</td> <td>2,5</td> <td>3</td> </tr> </table>	s	1,5	2	3-4	6	8-12	a	1,0	1,5	2	2,5	3									
s	1,5	2	3-4	6	8-12																			
a	1,0	1,5	2	2,5	3																			
V-образный со скосом двух кромок, односторонний		ГV	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>6</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>12</td> <td>14</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>2</td> <td>2,5</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>p</td> <td colspan="2">2</td> <td colspan="2">3</td> <td colspan="2">4</td> </tr> </table> <p>Односторонние V-образные швы применяются в исключительных случаях</p>	s	6	8	10	12	14	16	a	2	2,5	3	4	5	6	p	2		3		4	
s	6	8	10	12	14	16																		
a	2	2,5	3	4	5	6																		
p	2		3		4																			
V-образный со скосом двух кромок, двусторонний		ГV	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>14</td> <td>16</td> <td>18</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>3</td> <td colspan="2">3,5</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>p</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>10</td> </tr> </table>	s	14	16	18	20	a	3	3,5		4	p	7	8	9	10						
s	14	16	18	20																				
a	3	3,5		4																				
p	7	8	9	10																				

10.13. СВАРКА БЕСКИСЛОРОДНОЙ МЕДИ МАРКИ МЗр

Ручная электродуговая сварка

Листовую медь толщиной 8 мм и более сваривают с предварительным и сопутствующим подогревом газовой горелкой в зависимости от толщины до температуры 250—400° С.

Во избежание прожогов при сварке стыковых швов рекомендуется применять удаляемые после сварки стальные подкладки или подкладные кольца. Конструктивные элементы подготовки кромок листовой меди под стыковую сварку приведены в табл. 10.25.

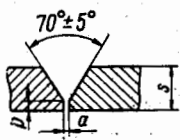
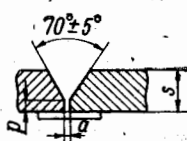
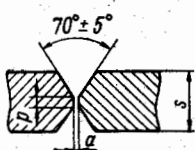
Рекомендуемый электрод приведен в табл. 6.15.

Таблица 10.25

Конструктивные элементы подготовки кромок листовой меди под сварку встык ручной электродуговой сваркой
(по ОН 26-01-71-68)

Тип шва	Эскиз	Обозначение на чертеже	Размеры, мм						
Без скоса кромок, двусторонний			<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>3</td> <td>4-5</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>1,5</td> <td>2</td> </tr> </table>	s	3	4-5	a	1,5	2
s	3	4-5							
a	1,5	2							
Без скоса кромок, односторонний			<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td colspan="2">3-4</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td colspan="2">1</td> </tr> </table>	s	3-4		a	1	
s	3-4								
a	1								

Продолжение табл. 10.25

Тип шва	Эскиз	Обозначение на чертеже	Размеры, мм					
			s	4	6	8	10	12
V-образный со скосом двух кромок, двусторонний		V	a	1,5	2	2,5	3	
			p	1,5		2		
			s	4	6	8	10	12
V-образный со скосом двух кромок, односторонний на подкладке		V	a	2	3	4	5	6
			p	1		2		
			s	4	6	8	10	12
X-образный с двумя скосами двух кромок, двусторонний		X	a	3	4	5	6	
			p	1,5		2		
			s	10	12	14	16—20	

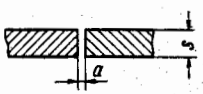
Ручная аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом тонколистовой бескислородной меди марки МЗр толщиной 1—4 мм

Ручная аргоно-дуговая сварка неплавящимся (вольфрамовым) электродом тонколистовой бескислородной меди марки МЗр толщиной 1—4 мм производится без разделки кромок, с зазором между кромками согласно табл. 10.26.

В качестве присадочного материала при сварке рекомендуется применять проволоку из сплава марки МНЖКТ 5-1-0,2-0,2 по ВЦТУ 98—60 или проволоку марки Бр.КМц3-1 по ГОСТу 5222—50. В качестве неплавящихся электродов рекомендуется применять лантанированный вольфрам по СТУ 45-ЦМ-1150—63, в качестве защитного газа — аргон марок А, Б и В по ГОСТу 10157—62.

Таблица 10.26

Конструктивные элементы подготовки кромок листов меди под стыковую ручную аргоно-дуговую сварку неплавящимся электродом (по ОН 26-01-71—68)

Тип шва	Эскиз	Обозначение на чертеже	Размеры, мм			
			s	1	1,5—2,5	3—4
Без скоса кромок, односторонний		3 ] [	a	0—0,2	0—0,5	0,5—1,0
			s			

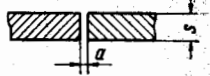

Полуавтоматическая сварка плавящимся электродом тонколистовой бескислородной меди марки МЗр толщиной 1,5—4 мм в среде азота

Полуавтоматическая сварка плавящимся электродом тонколистовой бескислородной меди марки МЗр толщиной

1,5—4 мм производится без разделки кромок с зазором между кромками согласно табл. 10.27.

В качестве плавящегося электрода рекомендуется применять проволоку из сплава марки МНЖКТ 5-1-0,2-0,2 по ВЦТУ 98—60. Азот должен удовлетворять требованиям ГОСТа 9293—59.

Конструктивные элементы подготовки кромок листовой меди под стыковую полуавтоматическую сварку плавящимся электродом в среде азота (по ОН 26-01-71-68)

Тип шва	Эскиз	Обозначение на чертеже	Размеры, мм												
Без скоса кромок, односторонний		ПЗ 	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>1,5</td> <td>2</td> <td>2,5</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>0+0,2</td> <td>0+0,5</td> <td>0,5-0,5</td> <td>1±0,5</td> <td>1+1,5</td> </tr> </table>	s	1,5	2	2,5	3	4	a	0+0,2	0+0,5	0,5-0,5	1±0,5	1+1,5
			s	1,5	2	2,5	3	4							
a	0+0,2	0+0,5	0,5-0,5	1±0,5	1+1,5										

10.14. СВАРКА ЛАТУНИ МАРКИ Л62

Для латуни вследствие большой жидкотекучести ее возможна только нижняя сварка с применением медных, стальных или асбестовых подкладок, имеющих канавку, способствующую формированию подварочного шва.

Ручная электродуговая сварка угольным электродом

Конструктивные элементы подготовки кромок листовой латуни под стыковую ручную электродуговую сварку угольным электродом приведены на рис. 10.7. В качестве электродов применяют графитовые или угольные бес-

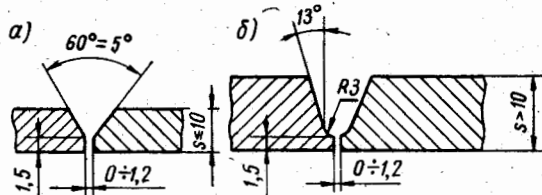


Рис. 10.7. Конструктивные элементы подготовки кромок листовой латуни марки Л62, свариваемой встык электродуговой сваркой угольным электродом (по ОН 26-01-71-68): а — V-образная разделка кромок; б — V-образная разделка кромок с криволинейным скосом

фитильные электроды, в качестве присадочного металла используются стержни из сплава ЛК80-3. Во избежание появления трещин в швах в присадочном металле допу-

скается следующее количество вредных примесей (в процентах): Fe ≤ 0,6; Sb ≤ 0,1; Pb ≤ 0,1. Для обеспечения хорошего сплавления присадочного металла с основным рекомендуется применять флюс марки БЛ-3, который в виде тонко измельченной смеси наносится на стержни путем опыления.

Сварка латуни толщиной до 10 мм производится без подогрева, свыше 10 мм — с подогревом до температуры 300—350° С.

Для снятия внутренних напряжений изделие после сварки рекомендуется подвергать низкотемпературному отжигу при температуре 300° С.

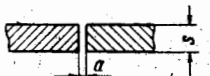

Автоматическая сварка под флюсом

Автоматическая сварка под флюсом латуни толщиной до 10 мм встык производится без разделки кромок с зазором согласно табл. 10.28.

В качестве присадочного металла применяется проволока из чистой меди марки М0 диаметром 2 мм. Сварка производится под флюсом марок МАТИ-53 или БКФ-5. Прочность сварных соединений, выполненных медной проволокой в сочетании с флюсом БКФ-5, несколько ниже прочности сварных соединений, выполненных под флюсом МАТИ-53. Для повышения прочности сварных соединений, выполненных под флюсом БКФ-5, рекомендуется применять медную проволоку, легированную железом (1—1,5%) и марганцем (1,5—2%).

При сварке необходимо применять поджимные устройства в виде стальных или графитовых полос или флюсовую подушку.

Конструктивные элементы подготовки кромок листовой латуни под стыковую автоматическую сварку под флюсом (по ОН 26-01-71-68)

Тип шва	Эскиз	Обозначение на чертеже	Размеры, мм								
Без скоса кромок, двусторонний		А 	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>6</td> <td>8</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>0,5-1</td> <td>1-2</td> <td>2-3</td> </tr> </table>	s	6	8	10	a	0,5-1	1-2	2-3
			s	6	8	10					
a	0,5-1	1-2	2-3								

Газовая сварка

Конструктивные элементы подготовки кромок листов латуни под стыковую газовую сварку приведены на рис. 10.8. Рекомендуемые присадочная проволока и флюс приведены в табл. 6.16.

10.15. СВАРКА НИКЕЛЯ МАРКИ НП-2

Ручная электродуговая сварка

Конструктивные элементы подготовки кромок листового никеля под стыковую ручную электродуговую сварку приведены в табл. 10.29. Для сварки применяются электроды марки П-2Н на проволоке НП2, разработанные ВНИИПТхиммашем.

Композиционная сварка никеля марки НП2 с малоуглеродистыми сталями и высоколегированными сталями аустенитного класса 0X18H10T и других марок производится с применением электродов на проволоке Св-07Х25Н13 (ГОСТ 2246—60) с покрытием ЦЛ-9 и ЭНТУ-3.

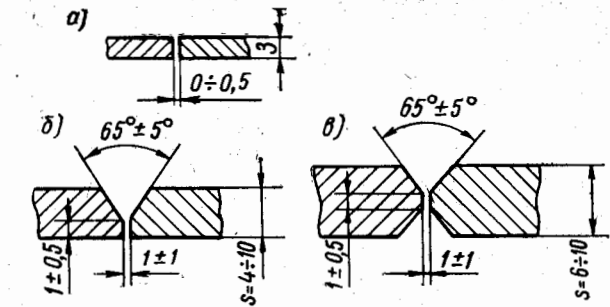


Рис. 10.9. Конструктивные элементы подготовки кромок листового никеля марки НП2 под стыковую ручную аргоно-дуговую сварку (по ОН 26-01-71—68): а — без разделки кромок; б — V-образная разделка кромок; в — X-образная разделка кромок

Таблица 10.29

Конструктивные элементы подготовки кромок листового никеля под стыковую ручную электродуговую сварку (по ОН 26-01-71—68)

Тип шва	Эскиз	Обозначение на чертеже	Размеры, мм		
Без скоса кромок, односторонний		⌋	s	1,5—3	
			a	1—1,5	
V-образный со скосом двух кромок, односторонний и двусторонний		∇	s	4—6	7—12
			a	1,5—2	1,5—3
			p	0,5—1	1,5—2

Ручная аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом

Конструктивные элементы подготовки кромок листового никеля под стыковую ручную аргоно-дуговую сварку неплавящимся электродом приведены на рис. 10.9.

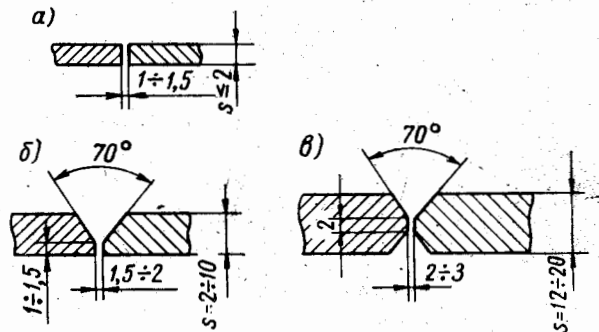


Рис. 10.8. Конструктивные элементы подготовки кромок листовой латуни марки Л62, свариваемой встык газовой сваркой (по ОН 26-01-71—68): а — без скоса кромок; б — V-образная разделка кромок; в — X-образная разделка кромок

В качестве присадочного материала при сварке рекомендуется применять прутки из сплава НМцАТ-3-1, изготовляемые по инструкции завода «Уралхиммаш», сплава НМцАТ-1,5-1,5-2,5 по ПТУ 23—67 и проволоку НП2 по ГОСТу 2179—59, в качестве неплавящихся электродов — вольфрамовые прутки марки ВЛ10 по СТУ45-ЦМ-1150—63. Защитный газ — аргон марки А по ГОСТу 10157—62.

10.16. СВАРКА ТИТАНА МАРК ВТ1-00, ВТ1-0 И ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ МАРК ОТ4, ОТ4-0, ОТ4-1

Большое сродство титана и его сплавов к кислороду и азоту при высоких температурах затрудняет сварку. Если при сварке не применяют специальных мер защиты, то газы воздуха загрязняют шов и он становится хрупким. Для получения качественных швов необходимо обеспечить надежную защиту инертным газом сварочной ванны от газов воздуха во время сварки, а также остывающих участков металла шва и околошовной зоны после сварки вплоть до температуры 400—500° С. Хорошая защита необходима также и для обратной стороны свариваемого металла.

Ручная аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом

Конструктивные элементы подготовки кромок листового металла под стыковую аргоно-дуговую сварку неплавящимся электродом приведены в табл. 10.30.

В качестве присадочного металла применяется прополака марки ВТ1 по ТУ 961-1205, марки ВТ1-00 по

АМТУ 449-1-65 или полосы, нарезанные из листов марок ВТ1-00 и ВТ1-0 и подвергнутые вакуумному отжигу.

В качестве неплавящегося электрода рекомендуется применять лантанированные вольфрамовые прутки по СТУ 15 ЦМ 1150-63. Защитный газ — аргон марки А по ГОСТу 10157-62 или телий по МРТУ 51-04-23-64.

Таблица 10.30

Конструктивные элементы подготовки кромок листовых конструкций из титана и титановых сплавов под сварку стык, выполняемую ручной аргоно-дуговой сваркой неплавящимся электродом (по ОН 26-01-71-68)

Тип шва	Эскиз	Обозначение на чертеже	Размеры, мм															
Без скоса кромок, односторонний		3 II	<table border="1"> <tr> <td>a</td> <td colspan="4">0,5—2</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td colspan="4">0,5—1</td> </tr> </table>	a	0,5—2				b	0,5—1								
a	0,5—2																	
b	0,5—1																	
V-образный со скосом двух кромок, односторонний и двусторонний		3 V 3 V	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>6—8</td> <td>10—20</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td>0^{+1}</td> <td>$1^{+0,5}$</td> <td>$1,5^{+0,5}$</td> <td>$2^{+0,5}$</td> </tr> <tr> <td>p</td> <td colspan="2">$0^{+0,5}$</td> <td colspan="2">0^{+1}</td> </tr> </table>	s	3	4	6—8	10—20	a	0^{+1}	$1^{+0,5}$	$1,5^{+0,5}$	$2^{+0,5}$	p	$0^{+0,5}$		0^{+1}	
s	3	4	6—8	10—20														
a	0^{+1}	$1^{+0,5}$	$1,5^{+0,5}$	$2^{+0,5}$														
p	$0^{+0,5}$		0^{+1}															
X-образный с двумя скосами двух кромок, двусторонний		3 X	<table border="1"> <tr> <td>s</td> <td colspan="4">10—20</td> </tr> <tr> <td>a</td> <td colspan="4">2^{+1}</td> </tr> <tr> <td>p</td> <td colspan="4">$0^{+0,5}$</td> </tr> </table>	s	10—20				a	2^{+1}				p	$0^{+0,5}$			
s	10—20																	
a	2^{+1}																	
p	$0^{+0,5}$																	

Механизированная аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом

Стыковые сварные соединения листового титана и титановых сплавов толщиной от 0,5 до 2 мм выполняются

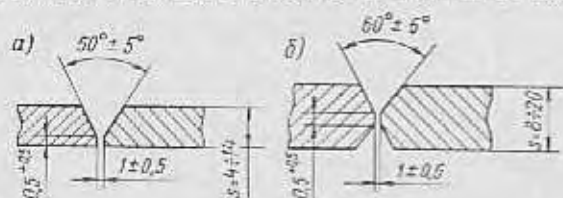


Рис. 10.10. Конструктивные элементы подготовки кромок листового титана и титановых сплавов толщиной 3—20 мм под стыковую механизированную аргоно-дуговую сварку неплавящимся электродом (по ОН 26-01-71-68): а — V-образная разделка кромок; б — X-образная разделка кромок

механизированной аргоно-дуговой сваркой неплавящимся электродом с зазором между кромками $a = 0 \pm 0,15$ мм без применения присадочного материала; толщиной 2,5 и 3 мм — с зазором между кромками $a = 0 \pm 0,2$ мм также без применения присадочного материала. Стыковые соединения листового материала больших толщин выполняются с V-образной и X-образной разделкой кромок и с применением присадочного материала.

Конструктивные элементы подготовки кромок листового металла толщиной 3—20 мм под стыковую механизированную аргоно-дуговую сварку неплавящимся электродом приведены на рис. 10.10.

Автоматическая аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом

Конструктивные элементы подготовки кромок листового титана и титановых сплавов толщиной 4—20 мм под стыковую автоматическую аргоно-дуговую сварку

Ручная аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом

Конструктивные элементы подготовки кромок листового металла под стыковую аргоно-дуговую сварку неплавящимся электродом приведены в табл. 10.30.

В качестве присадочного металла применяется проволока марки ВТ1 по ТУ 961.1205, марки ВТ1-00 по

АМТУ 449-1-65 или полосы, нарезанные из листов марок ВТ1-00 и ВТ1-0 и подвергнутые вакуумному отжигу.

В качестве неплавящегося электрода рекомендуется применять лантанированные вольфрамовые прутки по СТУ 45-ЦМ-1150-63. Защитный газ — аргон марки А по ГОСТу 10157-62 или гелий по МРТУ 51-04-23-64.

Таблица 10.30

Конструктивные элементы подготовки кромок листовых конструкций из титана и титановых сплавов под сварку стык, выполняемую ручной аргоно-дуговой сваркой неплавящимся электродом (по ОН 26-01-71-68)

Тип шва	Схема	Обозначение из чертежа	Размеры, мм
Без скоса кромок, односторонний		3 II	a 0,5-2
			a 0,5-1
V-образный со скосом двух кромок, односторонний и двусторонний		3 V 3 V	a 0+1
			a 1+0,5
			a 1,5+0,5
X-образный с двумя скосами двух кромок, двусторонний		3 X	a 0+0,5
			a 0+1
			a 10-20
			a 2+1
			a 0+0,5
			a 10-20

Механизированная аргоно-дуговая сварка неплавящимся электродом

Стыковые сварные соединения листового титана и титановых сплавов толщиной от 0,5 до 2 мм выполняются

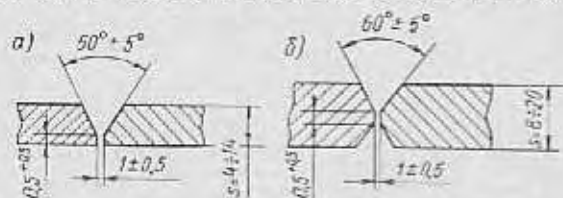


Рис. 10.10. Конструктивные элементы подготовки кромок листового титана и титановых сплавов толщиной 3-20 мм под стыковую механизированную аргоно-дуговую сварку неплавящимся электродом (по ОН 26-01-71-68): а — V-образная разделка кромок; б — X-образная разделка кромок

механизированной аргоно-дуговой сваркой неплавящимся электродом с зазором между кромками $a = 0 \pm 0,15$ мм без применения присадочного материала; толщиной 2,5 и 3 мм — с зазором между кромками $a = 0 \pm 0,2$ мм также без применения присадочного материала. Стыковые соединения листового материала больших толщин выполняются с V-образной и X-образной разделкой кромок и с применением присадочного материала.

Конструктивные элементы подготовки кромок листового металла толщиной 3-20 мм под стыковую механизированную аргоно-дуговую сварку неплавящимся электродом приведены на рис. 10.10.

Автоматическая аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом

Конструктивные элементы подготовки кромок листового титана и титановых сплавов толщиной 4-20 мм под стыковую автоматическую аргоно-дуговую сварку

без разъемки кромок и без зазора. Листы большей толщины сваривают с разъемкой кромок под углом 60—90° (без зазора).

10.18. СВАРКА ТРУБ С ТРУБНЫМИ РЕШЕТКАМИ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

На рис. 10.13 показана рекомендуемая конструкция сварного соединения труб с трубными решетками теплообменных аппаратов, изготовляемых из углеродистых, низколегированных и высоколегированных сталей. Высо-

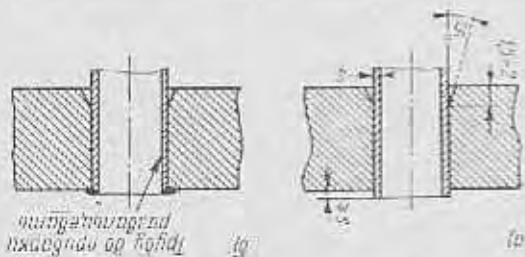


Рис. 10.13. Приварка труб к трубным решеткам сталей теплообменных аппаратов: а — подготовлен кромок; б — окончательный шов

кая толщина сварных соединений достигается применением инкогенированной и высоколегированной сталей. Высоколегированные и высокопрочные стали, изготовляемые из углеродистых, низколегированных и высоколегированных сталей, сваривают с трубными решетками теплообменных аппаратов, изготовляемых из алюминия и его



Рис. 10.14. Приварка труб к трубным решеткам теплообменных аппаратов из алюминия и его сплавов: а — подготовлен кромок; б — окончательный шов

сплавом. Высокое качество сварных соединений достигается с помощью безпрепятственной подачи сварной ванны без предварительной обработки кромок, но с обязательной отбортовкой по контурной канавке и бетатке. Сварка труб с решеткой производится при помощи инкогенированной и высоколегированной сталей (вольфрамовый электрод диаметром 2 мм при предварительном и окончательном подогреве трубной решетки до температуры 200—250°С. Хорошее качество сварных соединений, выполненных в соответствии с указанным способом, обеспечивается при сварке с листами толщиной 1,5—3 мм.

направится электродом приварены на рис. 10.11. В качестве инкогенированной стали рекомендуется применять порошковую марку ВТ1-00 по АМТЗ 49-1—65 или марку ВТ1 по ТУ 961-1205—66.

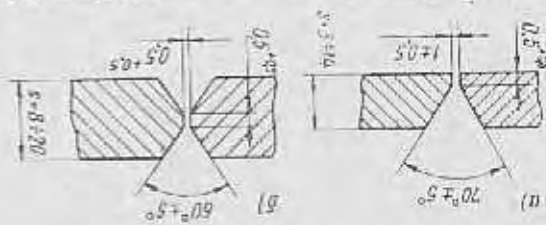


Рис. 10.11. Конструктивные элементы подтолки кромок листов углеродистой и легированной сталей толщиной 1—2 мм при сварке в V-образную разъемку кромок: а — приваривается электродом (по ОН 26-01-71-68); б — приваривается электродом (по ОН 26-01-71-68); в — без разъемки кромок; г — без разъемки кромок

Стальные листы с V-образной разъемкой кромок имеют несколько ограничений на величину углаемой подкладки, листы с X-образной разъемкой кромок — без применения подкладок.

Автоматическая сварка под флюсом

Конструктивные элементы подтолки кромок листов углеродистой и легированной сталей толщиной 1—2 мм при сварке в V-образную разъемку кромок приварены на рис. 10.12.

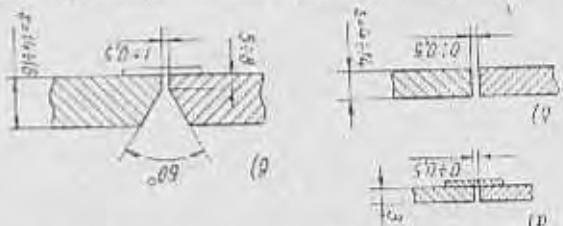


Рис. 10.12. Конструктивные элементы подтолки кромок листов углеродистой и легированной сталей толщиной 1—2 мм при сварке в V-образную разъемку кромок: а — приваривается электродом (по ОН 26-01-71-68); б — без разъемки кромок; в — без разъемки кромок; г — без разъемки кромок

10.17. СВАРКА СРЯЦА

Для изготовления сварных материалов рекомендуется использовать для изготовления материала толщиной 6 мм и более. Рекомендуется использовать для изготовления материала толщиной 6 мм и более. Рекомендуется использовать для изготовления материала толщиной 6 мм и более.

без разетки кромок и без зазора. Листья болыней тол- щины соединяют с разеткой кромок под углом 60° — 90° (без зазора).

10.18. СВАРКА ТРУБ С ТРУБНЫМИ РЕШЕТКАМИ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

На рис. 10.18 показана рекомендуемая конструкция сварного соединения труб с трубными решетками тепло- обменных аппаратов, изготовляемых из углеродистого, низколегированного и высоколегированного сталей. Высо- кое качество сварных соединений достигается применением

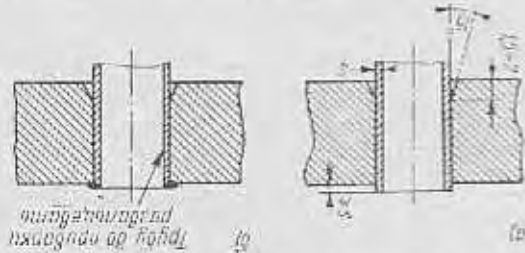


Рис. 10.18. Сварка труб с трубными решетками сталей: а — теплообменник; б — котельный тип

ручной и механизированной арно-дуговой сварки под флюсом в среде аргона. Для труб из сталей 10 и 20 рекомен- дуются электроды. Для труб из сталей 16 мм марки Цг-08Г12С по ГОСТ 2246—60, из сталей Х18Н10Т — марки Цг-06Х19Н9Т по ГОСТ 2246—60. В качестве сварочного газа рекомендуется аргои марки А по ГОСТ 10157—62. На рис. 10.14 показана рекомендуемая конструкция сварного соединения труб с трубными решетками тепло- обменных аппаратов, изготовляемых из алюминия и его сплавов.



Рис. 10.14. Сварка труб с трубными решетками теплообменных аппаратов из алюминия и его сплавов: а — котельный тип; б — котельный тип

Хорошее качество сварных соединений, выполненных в арно-дуговой среде, обеспечивается при сварке с вылет- ным трубом с наружным диаметром $D \geq 8$ мм при толщине стенок $1,5$ — 5 мм.

Сварка труб с решеткой производится при ручной по контурной канавке и решетке. Канавки и отверстия, но с обязательной отбортовкой на рис. 10.15, а. Трубы с канавками без предварительной доработ- ки привариваются к решетке без предварительной доработ- ки. Для приварки труб необходимо развальцевать на всю длину привалочные фланцы и механической обработкой довести их до диаметра трубного зазора. Высокое качество сварных соединений дости- жается

использованием электродов, приведенных на рис. 10.11. В ка- честве арнообменной среды применяется инертный газ аргои марки А11-00 по АМТЗ 449-1—65 или марки В11 по ГТ 961-1205—66.

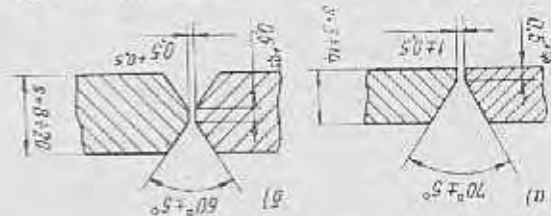


Рис. 10.11. Конструктивные элементы подтолки кромок листов титана и титановых сплавов толщиной 1—2 мм под стыковую электрошлаковую арно-дуговую сварку при применении электродов: а — Х-образная разетка; б — V-образная разетка кромок

Сварные швы с V-образной разеткой кромок выполня- ются в автоматическом или механизированном режиме. Для швов с X-образной разеткой кромок — без применения подкладки.

Автоматическая сварка под флюсом

Конструктивные элементы подтолки кромок арно- дуговой и титановых сплавов под стыковую арно-

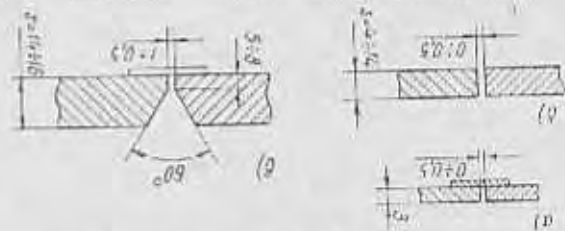


Рис. 10.12. Конструктивные элементы подтолки кромок листов титана и титановых сплавов толщиной 1—2 мм под стыковую арно-дуговую сварку при применении электродов: а — V-образная разетка кромок; б — X-образная разетка кромок

Рекомендуемые конструктивные материалы приведены в табл. 0.14

Для арнообменной среды толщина листов 3 мм рекомен- дуется изготовлять из арнообменной среды. Для арнообменной среды толщиной 4—6 мм — не остается или на- длежит изготовлять арнообменную среду из арнообмен- ных сталей.

10.17. СВАРКА ШЛИЦ

В химическом машиностроении шлицевые соединения при- менимо для сварки арнообменного аппарата. Для арнообменной среды толщина листов 3 мм рекомен- дуется изготовлять из арнообменной среды. Для арнообменной среды толщиной 4—6 мм — не остается или на- длежит изготовлять арнообменную среду из арнообмен- ных сталей.

СВАРКА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Из неметаллических конструкционных материалов свариваются винилпласт, полиэтилен, полипропилен, сополимер этилена с пропиленом, полистирол, полихлорвиниловый пластикат, полиизобутилен, фторопласт-4 и кварцевое стекло. Ниже приводятся некоторые данные по сварке упомянутых материалов.

11.1. СВАРКА ВИНИПЛАСТА

Химическую аппаратуру из винилпласта преимущественно изготавливают сварной и резе клеевой.

Винилпласт хорошо сваривается в струе нагретого воздуха или инертного газа, трением, с помощью шпательных инструментов, ультразвука, тока высокой частоты. Оптимальная температура сварки составляет 200—230° С. Наибольшее распространение получили два основных вида сварки винилпласта: прутковая и беспрутковая.

Процесс прутковой сварки винилпласта заключается в одновременном разогреве кромок свариваемых деталей и присадочного прутка струей горячего воздуха или инертного газа до температуры, равной примерно 200° С, и заполнения сварочного шва слоями из присадочного прутка. Прутковую сварку винилпласта производят при помощи специальных электрических или газовых горелок, в которых проходящая через них струя воздуха или инертного газа подогревается до температуры 230—270° С.

В отличие от сварки металлов и сплавов присадочные прутки, применяемые при сварке винилпласта, не расплавляются, а только размягчаются и, вдавливаясь струей горячего газа между кромками свариваемых деталей, сцепляются с основным материалом и между собой. Прочность сварного соединения существенно зависит от правильности ведения технологического режима сварки (температуры и количества подаваемого воздуха, диаметров присадочного прутка и сопла горелки), толщины свариваемого материала и профиля сварного шва.

Наибольшую прочность имеют швы стыковых соединений листового винилпласта, что определяло преимущественное их применение для сварной винилпластовой аппаратуры, работающей под избыточным давлением или под разрежением. Наименьшую прочность имеют швы внахлестку и швы тзвровых соединений, применяемые для сварной аппаратуры в исключительных случаях.

В табл. 11.1 приводятся конструктивные элементы сварных соединений и основные показатели прутковой сварки деталей из листового винилпласта, а в табл. 11.2 — коэффициенты прочности сварных швов.

Промышленно выпускаются сварочные прутки из винилпласта диаметром 2,3 и 4 мм по СТУ 14 — 1345—65. Длина прутков — не менее 0,5 м.

При прутковой сварке винилпласта отмечается низкая ударная вязкость шва, а также снижение ударной вязкости основного материала на границе сварного шва.

Соединение труб из винилпласта производится внахлестку (рис. 11.1) с применением сварки в сочетании с клеевой. Прочность соединения обеспечивается склеиванием труб по поверхности их соприкосновения перхлорвиниловым клеем, а сварка служит лишь дополнительным способом уплотнения.

Прутковая сварка винилпласта с нагревом газовыми теплоносителями имеет следующие недостатки:

- 1) невысокая прочность сварного соединения;
- 2) пониженная пластичность сварного шва и основного материала в околосварной зоне;
- 3) низкая производительность сварочного процесса, особенно при сварке толстолистового материала;

4) зависимость качества сварки от индивидуальных способностей и квалификации сварщика;

5) возможность перегрева материала при сварке.

В последнее время для увеличения скорости прутковой сварки винилпласта начали применять специальные профилированные прутки треугольного сечения с углом при вершине 55° и высотой 5; 7 и 10 мм. Сварка винилпласта с применением профилированного прутка производится на специальном агрегате, в котором обеспечивается

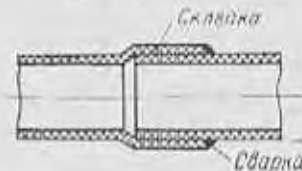


Рис. 11.1. Соединение 2 труб из винилпласта

подачу прутка с предварительным прогревом его, подачу горячего газа, а также укатка прутка при помощи вальцовки. Скорость сварки при оптимальном режиме расхода теплоносителя 3 м³/ч, температуре его 280° С и при температуре предварительного прогрева прутка 100° С составляет 7,56 м/ч, что примерно в 1,5 раза выше скорости ручной сварки с применением прутков круглого сечения. Прочность сварного соединения составляет около 70—80% от прочности основного материала [12].

Беспрутковая сварка винилпласта, получающая все большее распространение при сварке листового матери-

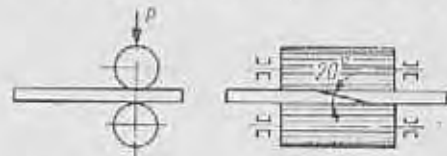


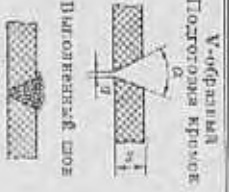
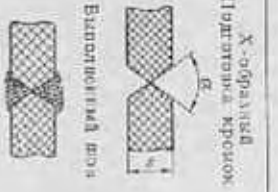
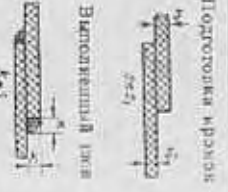
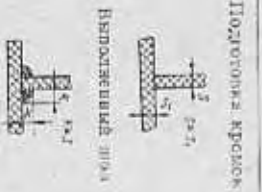
Рис. 11.2. Беспрутковая сварка винилпласта

ала, является более производительным технологическим процессом, позволяющим, кроме того, получать более прочные швы по сравнению с прутковой сваркой. Этим способом можно сваривать листы толщиной 3—12 мм со скоростью в 12—15 раз большей, чем при прутковом методе [16].

Принцип беспрутковой сварки листового винилпласта состоит в том, что материал, подлежащий сварке, предварительно прогревается воздушной горелкой, а затем спрессовывается под большим давлением. Кромки свариваемых листов срезаются под углом 20° (рис. 11.2). Сварка производится на станке конструкции треста «Монтажмашингаз». Коэффициент прочности стыкового сварного соединения листового винилпласта на растяжение равен 0,8—0,9 [16], ударная вязкость материала не снижается.

При прессовой сварке листового винилпласта с прогревом кромок горячим газом оптимальным режимом является температура теплоносителя 270° С и скорость сварки 36 м/ч. При этом достигается прочность сварного соединения, равная 93% прочности основного материала. Наиболее рациональной является разделка кромок листового винилпласта с углом раскрытия стыкового шва, равным 60° [12].

Конструктивные размеры сварных соединений и основные показатели сварки деталей из листового алюминия [154, 156]

Тип соединения	При толщине листового алюминия s, мм										Расход электродов на 1 м шва, кг									
	Угол раскрытия шва α, град		Зазор в корне шва d, мм		Оптимальный диаметр сварочного электрода, мм		Диаметр отверстия окончательный, мм		Расход электродов на 1 м шва, кг											
	3-5	7-10	12-15	17-20	3-5	7-10	12-15	17-20	3-5	7-10		12-15	17-20							
Стыковое	 V-образный Подготовка кромок Выполненный шов	55-60	60-65	70	75-80	0,5-1,0	1,0-1,2	1,0-1,5	1,5	2,0	3,0	3,5	2,5	3,0	3,0	4,0	0,06-0,075	0,1-0,11	0,2-0,25	0,5-0,65
		 X-образный Подготовка кромок Выполненный шов	45-50	50	55-60	60-70	-	-	-	-	2,0	2,0	3,0	3,0	2,5	2,5	3,0	3,0	0,05-0,075	0,06-0,08	0,1-0,22	0,25-0,35
Внахлестку	 Подготовка кромок Выполненный шов	-	-	-	-	-	-	-	2,6	3,0	3,0	3,5	2,8	3,0	3,0	3,5	0,08-0,075	0,1-0,22	0,25-0,34	0,54-0,74
		 Подготовка кромок Выполненный шов	-	-	-	-	-	-	-	2,5	3,0	3,0	3,5	2,6	3,0	3,0	3,5	0,015-0,065	0,1-0,14	0,16-0,25	0,46-0,67

Продолжение табл. 11.1

Тип пайки	Угол раскрытия шва α , град	Зазор в корне шва a , мм	При зашиве листового винилплетя s , мм										Расход прутков на 1,0 м шва, кг					
			3-5	7-10	12-15	17-20	3-5	7-10	12-15	17-20	3-5	7-10		12-15	17-20			
Тип соединения	30-45	30-55	40-70	40-80	При зашиве листового винилплетя s , мм										0,40-0,60			
					3-5	7-10	12-15	17-20	3-5	7-10	12-15	17-20	3-5	7-10		12-15	17-20	
Тип пайки					2,6	3,0	3,0	3,5	3,8	3,0	3,0	3,5	3,0	3,5	0,022-0,032	0,18-0,28	0,17-0,28	0,40-0,60
Тип пайки																		
Тип пайки																		

Подготовка кромок



Выполнение шва



Таблица 11.2

Коэффициенты прочности сварных швов листового винилплетя, выполненных прутковой сваркой при различных видах деформации [18]

Тип сварного соединения	Коэффициенты прочности			
	Растяжение	Сжатие	Срез	Изгиб
Швы стыковых соединений с V-образной разделкой кромок	0,75	0,85	0,65	0,65
Швы стыковых соединений с X-образной разделкой кромок	0,85	0,85	0,65	0,65
Швы соединений инаклетку и швы тавровых соединений	—	—	—	0,05
Швы угловых соединений	—	—	—	0,65

При ультразвуковой сварке листового винилплетя путем соединения листов на куст наибольшая прочность сварного соединения достигается при скосах кромок под углом 30 и 45° [121].

11.2. СВАРКА ПОЛИЭТИЛЕНА

Полиэтилен хорошо сваривается в струе инертного газа при температуре 280—300° С, контактным способом с применением нагретых металлических инструментов, трением и с применением ультразвука.

При прутковой сварке полиэтилена в качестве присадки применяют прутки из того же материала. Для сварки листового материала толщиной 3—10 мм оптимальный диаметр сварочных прутков равен 3,5—4 мм. Кромки листового полиэтилена под сварку стык рекомендуется разделывать V-образным или X-образным способом с углом раскрытия шва 60—70°. При этом прочность стыковых швов составляет 80—90% прочности основного материала [154].

При контактной сварке полиэтилена поверхности разогреваются при помощи нагретых до 200—220° С металлических плит или линейек. Во избежание прилипания вязкого расплава полиэтилена к металлу применяют антиадгезионные прокладки из фторопластовой пленки. Последние можно не применять в случае использования инфракрасного облучения при разогреве материала. Соединение оплавленных поверхностей и охлаждение швов во избежание деформации конструкции производится под давлением до 0,3 МПа.

Методом контактной сварки выполняются стыковые швы аппаратуры, изготавливаемой из листового полиэтилена, привариваются к обечайкам штуцера и другие детали, производится соединение труб вразруб и с применением муфт. Этим способом производится также соединение листового полиэтилена и пленок толщиной менее 1 мм.

Соединение полиэтиленовых труб средних и больших диаметров обычно производится стык с V-образной разделкой кромок. При толщине труб ≤ 6 мм угол раскрытия шва составляет 55—60°, при толщине > 6 мм — 70—90°. В качестве присадочного материала применяются

11.5. СВАРКА ПОЛИИЗОБУТИЛЕНА

Полиизобутилен хорошо сваривается в среде горячего воздуха при температуре 190—210°С. Сварка производится без присадочного материала путем разогрева соединяемых поверхностей с одновременистой прикаткой их роликом.

При флютерке полиизобутиленом стальная антиматрица применяется для соединения, изобретенные на рис. 11.4. Соединение полиизобутилена листов со сталью кромок листов производится при толщине материала более 3 мм. Для усиления и обеспечения герметичности стык переделают нагладкой шириной около 40 мм и толщиной, равной толщине листового полиизобутилена (рис. 11.4, в). Стыковое соединение листового полиизобутилена толщина 3 мм.

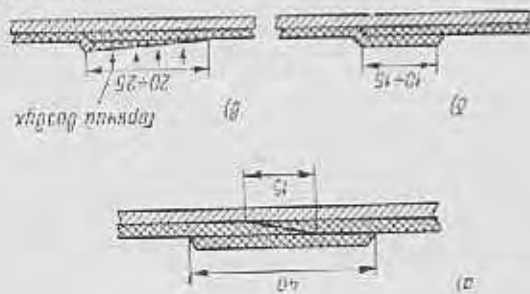


Рис. 11.4. Типы сварных соединений полиизобутилена

бутилена толщиной после 3 мм выполняется шпательную (рис. 11.4, в). Максимальная прочность и плотность стыка достигается при раскатке верхнего слоя нахлеста до плоскости листов (рис. 11.4, в). Коэффициент прочности при таких типом равен 0,7—0,8.

Полиизобутилен сваривают также с применением клеев № 88-Н, который предварительно наносит на соединяемые кромок тонким слоем. Сварку производят после выдержки в течение 2—3 в прокатных кромках для выдувания воздуха из соединения. Клей проникает в стыб материала ханки поверхности. Клей проникает в стыб материала ханки поверхности. Клей проникает в стыб материала ханки поверхности.

Флютерка — хорошо сваривается контактным способом при температуре 380—385°С с применением нагретого газа. При сварке флютерка — в среде горячих испаряющихся и углеводородов — в среде содов при температуре 380—385°С с применением флютера. При сварке флютерка — в среде содов при температуре 380—385°С с применением флютера. При сварке флютерка — в среде содов при температуре 380—385°С с применением флютера.

11.6. СВАРКА ФТОРОПЛАСТА-4

Основное преимущество сварки фторопласта-4 — это то, что при этом получается более прочный. Однако этот недостаток с применением клея более pronounced. Сварка производится быстро и эффективно в процессе сварки. Сварка производится быстро и эффективно в процессе сварки. Сварка производится быстро и эффективно в процессе сварки.

Для проварки полимеров при диаметре сечения. Для проварки (при толщине $3 \text{ мм} \leq \text{труб} \leq 6 \text{ мм}$) и 4 мм (при толщине $\text{труб} > 6 \text{ мм}$).

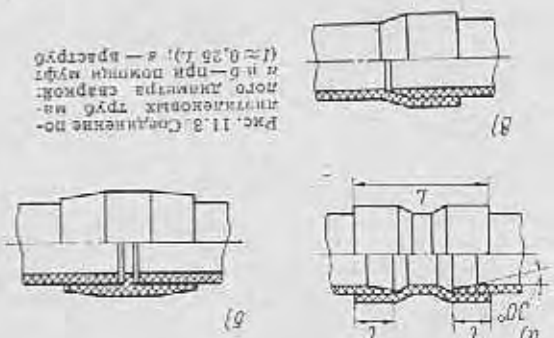


Рис. 11.3. Соединение полиизобутиленовых труб методом контактной сварки: а — при толщине стенок 1 и 1 мм; б — при толщине стенок 1 и 1 мм

Сварку полиизобутиленовых труб малого диаметра можно производить контактным способом с применением контактной сварки. Конструкция таких соединений показана на рис. 11.3.

11.3. СВАРКА ПОЛИПРОПИЛЕНА И СОПОЛИМЕРА ЭТИЛЕНА С ПРОПИЛЕНОМ

Ламинированный углеводородными сваривается в среде инертного газа при температуре 160—185°С и хорошо — ультразвуковой сваркой [19]. Соплимер этилена с полипропиленом ультразвуковой сварки [19]. Соплимер этилена с полипропиленом ультразвуковой сварки [19]. Соплимер этилена с полипропиленом ультразвуковой сварки [19].

11.4. СВАРКА ПОЛИХЛОРИВИНИЛОВОГО ПЛАСТИКАТА

Полихлорвиниловый пластикат хорошо сваривается в среде воздуха и инертного газа, контактным способом с применением нагреваемых металлических индукторов (пант. индуктор), с применением ультразвука, токовой высокой частоты и др. (рис. 11.4). При сварке в среде инертного газа, контактным способом с применением ультразвука, токовой высокой частоты и др. (рис. 11.4). При сварке в среде инертного газа, контактным способом с применением ультразвука, токовой высокой частоты и др. (рис. 11.4).

11.7. СВАРКА КВАРЦЕВОГО СТЕКЛА

Применение сварки прозрачного и непрозрачного кварцевого стекла позволяет изготавливать сложную химическую аппаратуру из этого весьма ценного конструкционного материала.

Наибольшее распространение получила сварка кварцевого стекла встык с применением присадочных стержней из того же материала. Сварка производится водородо-кислородным пламенем, обеспечивающим температуру, равную примерно 2100°C . Перед сваркой изделие подвергается равномерному нагреву в газовой или электрической печи до температуры $1000\text{--}1100^{\circ}\text{C}$, так как сварка без предварительного подогрева приводит к образованию остаточных сварочных напряжений, превосходящих предел прочности, разрушающих изделие после охлаждения [141].

Кварцевое стекло толщиной до 3 мм сваривают встык без выполнения разделки кромок и без зазора. Стекло толщиной до 15 мм сваривают после V-образной разделки кромок с общим углом раскрытия $60\text{--}90^{\circ}$, притуплением 2—3 мм, без зазора. При сварке встык изделий большей толщины применяют X-образную разделку кромок.

Для аппаратуры, работающей без давления или под незначительным избыточным давлением (до $0,07\text{ МПа}$), допускается применение соединений внахлестку, тавровых и угловых. Катод шва принимается по меньшей толщине свариваемого материала, но не более 6—8 мм. Для снятия внутренних напряжений аппаратуру из кварцевого стекла после сварки необходимо подвергнуть отжигу при температуре $1140\text{--}1150^{\circ}\text{C}$ [141].

11.8. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ ШВОВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Для контроля качества сварных швов полимерных материалов применяют различные методы, основными из которых являются визуальный осмотр швов, испытание изделий на прочность и герметичность, проверка рентгенопросвечиванием и электронскривым способом.

При визуальном осмотре обнаруживаются внешние дефекты сварных швов, несоответствие исполненных геометрических размеров шва чертежу. Швы должны быть плотными, не иметь надрезов, обрывов, трещин (при прутковом методе сварки). В случае сварки мягких полимерных материалов (полиэтилена, полихлорвинилового пластика) после охлаждения сварного шва производят испытание его на разрыв. Прочность сцепления проверяют ножом. При хорошем сцеплении не удается

разъединить свариваемые поверхности. Обнаруженные дефектные места азваривают или подклеивают.

Герметичность сварных швов сосудов и аппаратов, изготовленных из полимерных материалов, проверяют керосином, иливом воды, сжатым воздухом при небольшом избыточном давлении. В последнем случае герметичность швов проверяют с применением мыльного раствора.

Наиболее надежным и удобным методом проверки непроницаемости сварных швов из термопластичных материалов, позволяющим точно определить дефектное место, является электронскривой способ. Этот способ основан на электроизоляционных свойствах большинства термо-

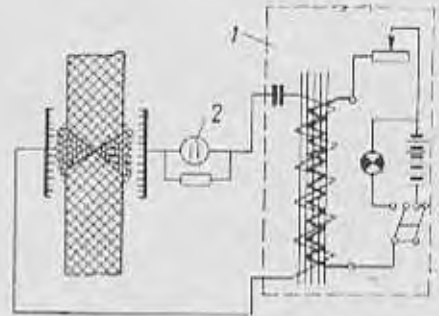


Рис. 11.5. Схема электронскривого дефектоскопа

пластичных материалов (за исключением полиизобутилена). Схема электронскривого дефектоскопа показана на рис. 11.5.

К индуктору 1, на выходе которого может быть получено напряжение $15\text{--}20\text{ кВ}$, присоединены проводники, оканчивающиеся щупами-щетками из тонкой мягкой медной проволоки, укрепленными на рукоятках из диэлектрического материала. На одной из щеток имеется индикаторная неоновая лампа 2. При испытании одну щетку ведут с одной стороны сварного шва, другую — с противоположной стороны. В момент прохождения щеток над дефектным местом между ними проскакивает искра и загорается неоновая лампа.

Одним из наиболее эффективных методов отыскания дефектов в сварных соединениях полимерных материалов является рентгенография. На рентгеновском снимке можно обнаружить некровар сварных швов, что недоступно для любого из упомянутых выше методов контроля. Кроме того, рентгенография позволяет выявить состояние сварного соединения, а также получить информацию о структуре шва.

Пайки называют процесс соединения металлов без их расплавления с помощью расплавленного металла — припоя, который более правильно называется расплавленным металлом. Пайка основана на способности расплавленного припоя втекать в зазоры под действием капиллярных сил, сила тяжести или при совместном действии этих сил. Прочность паяных соединений достигается за счет взаимной диффузии компонентов расплавленного припоя и литого соединения. Повышение прочности паяных соединений достигается введением соответствующих легирующих элементов. Выбор припоя для пайки металлов и сплавов определяется следующими условиями:

1. Прочность паяного соединения, которую требуется получить, так как она плохо смешивается припоём.
2. Прочность паяного соединения, которую требуется получить при пайке металлов и сплавов, подвергаемых химическим свойствам металлов и сплавов, подвергаемых пайке и др.

Часто прочность паяных соединений определяется не только прочностью паяных соединений, но и прочностью припоя. Выбор припоя для пайки металлов и сплавов определяется следующими условиями: 1. Прочность паяного соединения, которую требуется получить при пайке металлов и сплавов, подвергаемых химическим свойствам металлов и сплавов, подвергаемых пайке и др.

12.1. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПАЙКИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

ПАЙКА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

ТАБЛИЦА 12

выбор оптимальной величины зазора при пайке разнородных металлов [88, 104]

Паяемые металлы	Припой	Нормальная зазора, мм
Сталь углеродо-Медный (средний)	Медный (средний)	0,02—0,15
		0,05—0,30
		0,05—0,15
		0,02—0,15
Сталь нержавеющая (аустенитно-ферритная)	Медный (средний)	0,02—0,15
		0,05—0,30
		0,05—0,15
		0,02—0,15
Медь и ее сплавы	Медно-цинковый (серый)	0,02—0,30
		0,05—0,15
		0,02—0,15
		0,04—0,20
Алюминий и его сплавы	Припой на основе магния	0,15—0,25
		0,15—0,25
Титан титаново-цинковый (серый)	Серебряно-марганцовый	0,05—0,10
		0,05—0,10

1. Наиболее прочные и долговечные паяные соединения получаются при оптимальных зазорах между соединяемыми деталями. Наиболее прочные и долговечные паяные соединения получаются при оптимальных зазорах между соединяемыми деталями. Наиболее прочные и долговечные паяные соединения получаются при оптимальных зазорах между соединяемыми деталями.

2. Качество паяного соединения зависит от чистоты поверхности, подготовленной перед пайкой. Поверхность соединяемых деталей должна быть тщательно обезжирена и очищена от окислов и загрязнений. Она должна быть чистой и сухой.

3. Зазоры в паяных соединениях должны быть одинаковыми по всей длине соединения. Зазоры должны быть одинаковыми по всей длине соединения.

4. При пайке металлов и сплавов рекомендуется использовать защитные газы (аргон, гелий). Защитные газы используются для защиты поверхности паяемого металла от окисления.

5. При пайке металлов и сплавов рекомендуется использовать специальные инструменты (паяльники, паяльные лампы). Специальные инструменты используются для пайки металлов и сплавов.

6. При пайке металлов и сплавов рекомендуется использовать специальные материалы (припои, флюсы). Специальные материалы используются для пайки металлов и сплавов.

Таблица 12.2

Выбор припоев для мягкой и твердой пайки металлов и сплавов

Паяемые металлы	Рекомендуемые припои	
	мягкие	твердые
Медь техническая МЗ	ПОС 30 ПОС 40 ПОС 50 ПОС 61	ПМЦ 54 ПСр 12М ПСр 25 ПСр 45
Медь бескислородная МЗр		Л162 ЛОК 59-1-0,3 ПСр 25 ПСр 45
Латуни ЛС 59-1, Л162, ЛЖМц 59-1-1		ПМЦ 36 ПСр 12М ПСр 25 ПСр 45
Латуни, содержащая медь <68% с латунию, содержащей медь >68%. Медь техническая МЗ с латунями всех марок. Медь бескислородная МЗр с латунями ЛС 59-1, Л162 и ЛЖМц 59-1-1		ПСр 25 ПСр 45
Бронзы алюминиевые всех марок. Медь техническая МЗ и медь бескислородная МЗр с бронзами алюминиевыми всех марок	ПОС 30	ЛОК 59-1-0,3
Латуни ЛС 59-1, Л162 и ЛЖМц 59-1-1 с бронзами алюминиевыми всех марок		
Стали углеродистые ВМСт.Зсп, ВМСт.бсп, 10, 20, 30, 40. Стали углеродистые с латунями всех марок	ПОС 30 ПОС 40	ПСр 25
Стали углеродистые с медью технической МЗ и медью бескислородной МЗр		ПМЦ 54 ПСр 12М ПСр 25
Стали углеродистые с бронзами алюминиевыми	ПОС 30	ПСр 25
Стали хромистые 1Х13, 2Х13, Х17 и стали хромоникелевые Х18Н10Т, 0Х18Н12Б и другие марки. Стали хромистые и хромоникелевые с латунями всех марок	—	ПСр 45
Стали хромистые и хромоникелевые с медью технической МЗ и бескислородной МЗр		ПМЦ 54 ПСр 45

Таблица 12.3

Рекомендуемые флюсы для пайки металлов легкоплавкими припоями (коррозионно-инертные или слабо активные) [98]

Состав флюса	Температурный интервал флюсообразующего действия, °С	Назначение флюса
Канифольно-спиртовой: Канифоль 30% Спирт этиловый (ректификат) 70%	150—300	Для пайки меди припоями, содержащими 30% олова и выше. На латунях и бронзах менее эффективен
Стеарино-парафиновый: Стеарин 30% Парафин 68% Триэтилоламин 2%	130—300	Для пайки меди и латуни оловянно-свинцовыми припоями паяльником и в ваннах
ЛТИ-120: Спирт этиловый (95%) 70% Канифоль 24% Двухзамещенный солянокислый 40% Триэтилоламин 2%	200—350	Для пайки меди, медных сплавов, углеродистой стали и цинка
ЛМ-1: Фторофосфорная кислота (плотность 1,6—1,7) 100 мл Этиленгликоль или спирт метиловый 400 мл Канифоль 30 г	240—250	Для пайки хромоникелевых нержавеющей сталей припоями, содержащими более 30% олова
ЛК-2: Хлорид аммония 1% Хлорид цинка (кристаллический) 3% Канифоль 30% Спирт этиловый 66%	190—350	Для пайки меди и латуни
Флюсующая паста: Канифоль 10 масс. ч. Животный жир 5 масс. ч. Нашатырь 2 масс. ч. Хлорид цинка 1 масс. ч. Вода 1 масс. ч.	180—300	Для пайки меди, стали и цинка

Продолжение табл. 12.3

Состав флюса	Температурный интервал флюсующего действия, °С	Назначение флюса
Раствор молочной кислоты: Молочная кислота 15% Вода 85%	180—280	Для пайки меди, латуни, бронзы (для сталей менее эффективен)
Ф55: Гидразин солянокислый 22—4% Этилендиамин 5—50% Спирт этиловый—остальное	180—320	Для пайки меди, латуни, бронзы
Ф59А: Фторборат кадмия 10±0,5% Фторборат цинка 2,5±0,5% Фторборат аммония 5±0,5% Триэтилоламин 82±1%	150—320	Для пайки алюминия и сплавов АМц с медью и сталью оловянно-цинковыми припоями

Таблица 12.4

Рекомендуемые флюсы для пайки металлов легкоплавкими припоями (коррозионноактивные) [98]

Состав флюса	Температурный интервал флюсующего действия, °С	Назначение флюса
Хлорид цинка (безводный) 40% Вода 60% (допустимое содержание свободной соляной кислоты 0,6%)	290—350	Для пайки углеродистых и низколегированных сталей, меди, никеля и их сплавов легкоплавкими припоями на основе олова
Хлорид цинка (безводный) 48% Хлорид аммония 12% Вода 40%	150—320	
Гидразин сернокислый (плавленый) 70% Хлорид цинка (плавленый) 21,5% Хлорид аммония 8,5%	140—180	Для пайки меди и ее сплавов

Продолжение табл. 12.4

Состав флюса	Температурный интервал флюсующего действия, °С	Назначение флюса
Флюс № 3: 30—40%-ный водный раствор хлористого цинка 2 об. Соляная кислота 1 об.	180—330	Для пайки нержавеющей сталей, в частности стали Х18Н10Т
Хлористый цинк 25% Соляная кислота (концентрированная) 25% Вода 50%	—	Для пайки нержавеющей стали с медью и ее сплавами

Таблица 12.5

Рекомендуемые флюсы для пайки металлов твердыми припоями [98]

Состав флюса	Температурный интервал флюсующего действия, °С	Назначение флюса
34А: Натрий фтористый 10±1% Цинк хлористый 8±2% Литий хлористый 32±3% Калий хлористый 50—45%	420	Для пайки алюминия и его сплавов припоем 34А в пламени горелок, работающих на пропане или бытовом газе
Ф370А: Натрий фтористый 5% Литий хлористый 38% Калий хлористый 47% Кадмий хлористый 10%	560	Для пайки в флюсовых ваннах алюминиевых сплавов АД1, АМц, АМГ цинковыми и алюминиевыми припоями
Ф380А: Натрий фтористый 5% Цинк хлористый 10% Литий хлористый 38% Калий хлористый 47%		

Приложение табл. 12.5

Состав флюса	Температурный интервал флюсующего действия, °С	Назначение флюса
№ 209: Фторборат калия 23±2% Борный ангидрид 35±2% Фтористый калий (обезвоженный) 42±2%	600—850	Для пайки конструктивных и нержавеющей сталей, медных и жаропрочных сплавов серебряными припоями
№ 284: Фторборат калия 40±2% Борный ангидрид 25±2% Фтористый калий (обезвоженный) 35±2%	500—850	
№ 200: Борный ангидрид 66±2% Бура плавленая 19±2% Калканый фтористый 15±1%	850—1150	

Продолжение табл. 12.6

Паяемые металлы	Марка припоя	Флюс	Температура выпайки, °С	Предел прочности при сдвиге т., МПа, не менее	
Сталь 20	ПОС 40	—	—196 —100 —50 20 85	54 51 48 26 21	
	ПСр 2,5	Водный раствор хлористого цинка	20	28	
Сталь X18H10T	ПОС 30	—	—196 —100 —50 20 85	50 36 22 21 17	
	ПОС 40	—	—196 —100 —50 20 85	40 32 26 22 19	
	ПСр 40	№ 209	20	240	
	ПСр 45			170	
	ВПр 1	№ 200		300	
	ВПр 4	Аргон		330	
Латунь Л62	ПОС 18	ЛК 2		—183 20 85	52 27 14
	ПОС 30			—183 20 85	73 32 14
	ПОС 40		—183 20 85	80 24 14	
	ПОС 50		—70 20 100	60 35 20	
Медь	ПОС 40	—	20	51	
	ПОС 50	—	—70 20 100	50 40 10	

Таблица 12.6

Предел прочности при сдвиге паяных внахлестку образцов из черных и цветных металлов и сплавов мягкими и твердыми припоями при оптимальных зазорах⁺ между паяемыми деталями [98]

Паяемые металлы	Марка припоя	Флюс	Температура выпайки, °С	Предел прочности при сдвиге т., МПа, не менее
Сталь 10	ПМЦ 48	Бура	20	209
	Л62			275
	ЛОК 62-0,6-0,4			316
Сталь 20	ПОС 18	—	—196	60
			—100	47
			—50	43
	20		27	
	85		16	
	ПОС 30		—196	52
—100		41		
—50		36		
20	32			
85	19			

Продолжение табл. 12.6

Пайки металлов	Марка припоя	Флюс	Температура расплавления припоя, °С	Предел прочности при сдвиге τ_c , МПа, не менее
Медь	ПСр 2,5	ЛК-2	20	29
	ПСр 25	№ 209		188
	ПСр 40			161
Титановый сплав ОТ4	ПСр 50	№ 209	20	150
Титановый сплав ВТЗ-1	ПСр 40			170
	ПСр 50	190		
Титановый сплав ОТ4 со сталью Х18Н10Т	ПСр 50	№ 209	20	83
			400	79
Титановый сплав ВТЗ-1 со сталью Х18Н10Т	ПСр 40	№ 209	20	132
	400		48	
	ПСр 50	№ 209	20	174
			500	59

Примечание. Поверхность деталей из титановых сплавов перед пайкой была подвергнута химическому никелированию.

* Величины оптимальных зазоров приведены в табл. 12.1.

работающих под давлением, необходимо обеспечить работу швов на срез. Работа швов на отрыв и изгиб допускается только в паяных соединениях, не подвергающихся непосредственному действию основной расчетной нагрузки (например, соединения бортшайб или лап и корпуса аппарата). При этом расчетные напряжения принимаются в два раза меньшими, чем напряжения на срез в основных соединениях.

5. При пайке мягкими оловянно-свинцовыми припоями поверхности деталей, подвергавшиеся пайке, должны быть предварительно тщательно очищены и облужены. Пайка деталей твердыми припоями по полуде или вблизи луженого места недопустима.

12.2. РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Основными конструктивными типами паяных соединений при капиллярной пайке являются стыковые и нахлесточные. Стыковые паяные соединения во многих случаях менее прочны, чем основной металл, из-за меньшей прочности припоя. Соединения внахлестку позволяют

получать паяный шов, равнопрочный с основным металлом, так как требуемую прочность получают варьированием площади сая. Соединение со скосом кромок листового материала является переходным видом между соединением стыком и соединением внахлестку. Они применяются в тех случаях, когда требуется увеличить площадь сая при стыке. Такие соединения более прочны, чем стыковые, но менее технологичны, из-за чего применяются реже. Стыковые паяные соединения не рекомендуется применять в изделиях, подвергающихся в процессе изготовления после пайки изгибу и штамповке или работающим при больших статических нагрузках, а также в условиях ударных нагрузок или сильной вибрации. Паяные соединения в конструкции, как правило, выполняются внахлестку. Из трубчатых соединений с замкнутым швом чаще других применяют телескопические, представляющие собой соединение труб разного диаметра по внутренней поверхности трубы большего диаметра и по внешней поверхности трубы меньшего диаметра.

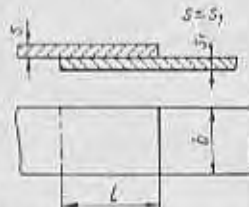


Рис. 12.1. Паяное соединение внахлестку листового материала

Для нахлестки l в $м$ (см) прямолинейного паяного шва (рис. 12.1), равнопрочного с основным металлом, определяется по формуле:

$$l = \frac{\sigma_d}{\tau_{cd}} s, \quad (12.1)$$

где σ_d — допускаемое напряжение на растяжение для основного металла в $МПа/м^2$ ($кгс/см^2$);

τ_{cd} — допускаемое напряжение в паяном шве на сдвиг в $МПа/м^2$ ($кгс/см^2$);

s — толщина листа в $м$ (см).

Величину допускаемого напряжения на растяжение для основного металла принимают меньшей из двух величин:

$$\sigma_d = \frac{\sigma_a}{n_a}; \quad \sigma_d = \frac{\sigma_T}{n_T} \quad (\text{или } \sigma_d = \frac{\sigma_{0,2}}{n_T}),$$

где величины запаса прочности n_a (по отношению к временному сопротивлению σ_a) и n_T (по отношению к пределу текучести σ_T или к условному пределу текучести $\sigma_{0,2}$) принимают по табл. 14.6.

Величину допускаемого напряжения в паяном шве на сдвиг определяют по формуле

$$\tau_{cd} = \frac{\tau_{ca}}{n_c}, \quad (12.2)$$

где τ_{ca} — предел прочности при сдвиге паяного шва в $МПа/м^2$ ($кгс/см^2$);

n_c — коэффициент запаса прочности, принимаемый равным для мягких припоев 8—10, для твердых припоев 5—7 в зависимости от конструкции паяного соединения и технологии пайки.

Величину τ_c принимают по табл. 12.6 (для малогабаритных соединений, выполняемых с обеспечением оптимальных зазоров, указанных в табл. 12.1) или по табл. 12.7 (для крупногабаритных паяных соединений, выполняемых с минимальными зазорами, допускаемыми котельно-медницкими приемами в условиях машиностроительного завода). Прямолинейные швы рекомендуется применять для стыковых соединений обечаек и других деталей медной аппаратуры со скосом кромок с использованием твердого припоя ПМЦ 54. Основные размеры паяных швов

Таблица 12.7

Расчетный предел прочности паянных внахлестку соединений из черных и цветных металлов и сплавов мягкими и твердыми припоями (по данным Балашихинского машиностроительного завода им. 40-летия Октября)

Паяемые металлы	Марка припоя	Предел прочности при сдвиге $\tau_{сд}$, Мн/м ² , не менее	Паяемые металлы	Марка припоя	Предел прочности при сдвиге $\tau_{сд}$, Мн/м ² , не менее
Медь с медью	ПОС 30	20	Латунь с латунией	ПОС 30	20
	ПОС 40	25		ПОС 40	25
	ПМЦ 54	180		ПМЦ 48	150
	ПСр 12М	180		ПСр 12М	180
	ПСр 25	180		ПСр 25	180
Медь с латунией	ПОС 30	18	Латунь со сталью	ПОС 30	18
	ПОС 40	22		ПОС 40	20
	ПМЦ 54	180		ПМЦ 54	180
	ПСр 12М	180		ПСр 12М	180
	ПСр 25	180		ПСр 25	180
Медь со сталью	ПОС 30	18	Сталь со сталью	ПОС 30	18
	ПОС 40	20		ПОС 40	20
	ПМЦ 54	180		ПМЦ 54	180
	ПСр 12М	180		ПСр 12М	180
	ПСр 25	180		ПСр 25	180

такого типа для деталей медной аппаратуры приведены в табл. 12.8.

Длина нахлестки l в м (см) прямолинейного паяного шва стыкового соединения со скосом кромок (рис. 12.2), равнопрочного с основным металлом, принимается большей из величин, полученных по формулам:

$$l = s \frac{\sigma_{\partial}}{\tau_{сд}} \sqrt{1 - \left(\frac{\tau_{сд}}{\sigma_{\partial}}\right)^2}; \quad (12.3)$$

$$l = s \frac{\sigma_{\partial}}{(\sigma_{\partial})_{пс}} \sqrt{1 - \left[\frac{(\sigma_{\partial})_{пс}}{\sigma_{\partial}}\right]^2}; \quad (12.4)$$

где $(\sigma_{\partial})_{пс} = \frac{(\sigma_{\partial})_{пс}}{n_{пс}}$ — допустимое напряжение в паяном соединении при работе его на растяжение в Мн/м² (кас/см²);

$(\sigma_{\partial})_{пс}$ — предел прочности паяного соединения на растяжение в Мн/м² (кас/см²);

$n_{пс}$ — коэффициент запаса прочности паяного соединения по отношению к величине $(\sigma_{\partial})_{пс}$.

Значения остальных величин были указаны выше. Иногда для прямолинейных швов обечаек медной и латунной аппаратуры применяют пайку твердым припоем с разделкой кромок зубец, обеспечивающей равнопрочность соединения с основным металлом в отожженном состоянии (рис. 12.3).

Для прямолинейных швов обечаек из меди, выполненных твердым припоем ПМЦ 54, рекомендуются следующие размеры зубцов в зависимости от толщины листового материала:

s в мм	1—2	3—4	5—6	8—10	12—14
b в мм	15	20	30	45	60

Кольцевые швы корпуса аппаратов медной аппаратуры и соединения медных труб рекомендуется выполнять внахлестку пайкой газовой горелкой с применением мяг-

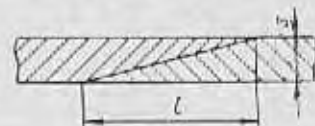


Рис. 12.2. Паяное соединение стык листового материала со скосом кромок

ких и твердых припоев. Рекомендуемая конструкция и основные размеры паяных кольцевых швов, приведены в табл. 12.9.

Типовые конструкции кольцевых соединений обечаек между собой и с массивными деталями (трубными решет-

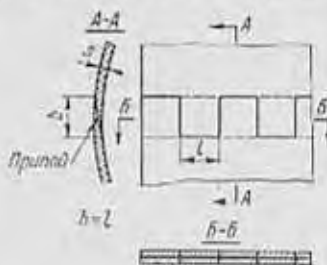


Рис. 12.3. Кольцевое соединение листового материала на твердом припое, выполненный зубец

ками, крышками, фланцами и др.) медной и латунной аппаратуры, выполняемые пайкой мягкими оловянно-свинцовыми припоями, показаны на рис. 12.4—12.7.

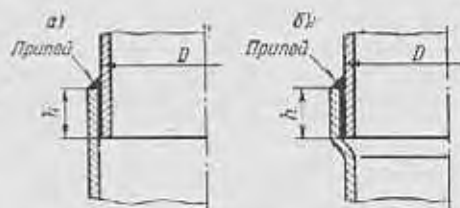


Рис. 12.4. Кольцевое соединение внахлестку: а — без препятствия для вытекания припоя; б — с отгибом нижней детали, препятствующим вытеканию припоя

Кольцевые соединения труб между собой посредством мягкой пайки рекомендуется выполнять внахлестку соответственно рис. 12.4, б.

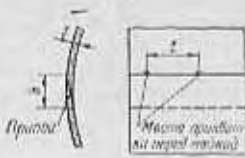
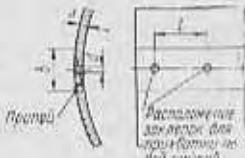


Рис. 12.5. Кольцевое соединение деталей примерно одинаковой толщины, выполненное внахлестку: а — при односторонней пропайке; б — при двухсторонней пропайке

Величину нахлестки кольцевых соединений, выполненных твердой и мягкой пайкой, определяют по следующим формулам.

Таблица 12.8

Швы стыковых соединений деталей медной аппаратуры, выполняемых со скосом кромок и с применением припоя ПМЦ 54

Эскиз шва	Способ пайки	Толщина листа s, мм	Ширина накладки б, мм	Заклепки				Расход припоя на 1 м шва, кг	Источник	
				диаметр d, мм	длина l, мм	Шаг t, мм	Шаг к, мм			
	Горновая	1	8	—	—	150	—	0,11	По данным машиностроительного завода «Комсомолец»	
		2	12			200		0,20		
		3	18			250		0,30		
		4	22			300		0,39		
		5; 6	30					0,73		
	Газовая	0,5	6	2	3	350	—	0,12	По данным машиностроительного завода им. Фрунзе	
		1	8					5		0,13
		1,5	10							0,15
		2	12	3	6			0,20		
		2,5	15					0,22		
		3	18	4	8			0,25		
		3,5	18			0,30				
		4	20			0,35				
		5	22	5	10	0,50				
		6	25			0,75				
		7	30	6	14	200		1,0		
		8	32			1,1				
		9	36			1,2				
		10	40	8	15	250		1,8		
		11	45					16		2,0
12	50	18	2,3							
13	55	20	2,5							
14	60	10	22	300	2,7					
15	70				20	3,0				
16	70				25	3,25				
17	70	12	24	300	3,5					
18	75				30	3,75				
19	80				4,0					
20	80	12	26	300	4,25					
21	85				35	4,5				
22	90				4,75					
23	95	12	28	300	40	5,0				
24	100				45	5,25				
25	100				30	5,5				

Примечание. Заклепки выполнены из меди М3.

Таблица 12.9

Швы обечаск и труб медной аппаратуры, выполняемые мягкой и твердой пайкой (по данным машиностроительного завода им. Фрунзе)

Элемент соединения	Толщина s , мм	Мягкий припой		Твердый припой	
		Размер h , мм	Расход припоя на 1 м шва, г/см	Размер h , мм	Расход припоя на 1 м шва, г/см
	1	12	0,130	12	0,15
	2	24	0,154	15	0,22
	3	36	0,169	20	0,35
	4	48	0,186	25	0,50
	5	60	0,205	30	0,75
	6	72	0,226		1,0
	7	84	0,252	35	1,1
	8	96	0,272	40	1,2
	9	108	0,302	45	1,8
	10	120	0,327	50	2,0
	11			55	2,3
	12			60	2,5
	13	—	—	65	2,7
	14			70	3,0
	15			75	3,5



При пайке соединений с одной стороны соответственно рис. 12.4, а и б; 12.5, а; 12.6, а и 12.7, а и б

$$h = \frac{pD}{4\tau_{сд}} \quad (12.5)$$



При пайке соединений с двух сторон соответственно рис. 12.5, б и 12.6, б

$$h = \frac{pD}{8\tau_{сд}} \quad (12.6)$$

Рис. 12.6. Кольцевое соединение тонкостенной детали с массивной, выполненное сплавом: а — при односторонней пропайке; б — при двухсторонней пропайке

где p — расчетное избыточное давление в $МН/м^2$ ($кгс/см^2$);
 D — диаметр кольцевого соединения в $м$ ($см$);
 $\tau_{сд}$ — допускаемое напряжение в паяном соединении на сдвиг в $МН/м^2$ ($кгс/см^2$), определяемое по формуле

$$\tau_{сд} = \frac{\tau_{св}}{n_c} \eta \quad (12.7)$$

где $\tau_{св}$ — предел прочности при сдвиге паяного соединения в $МН/м^2$, выбираемое по табл. 12.7;
 n_c — коэффициент запаса прочности, принимаемый по табл. 12.10 в зависимости от конструкции паяного соединения, способа пайки и требований контроля выполненного шва;
 η — поправочный коэффициент, выбираемый в зависимости от эксплуатационного класса аппаратуры по данным, рекомендованным в гл. 14.

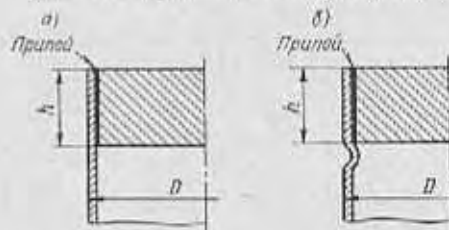


Рис. 12.7. Кольцевое соединение аналогично тонкостенной детали с массивной: а — без препятствия для вытекания припоя; б — с гофром в тонкостенной детали, препятствующим вытеканию припоя

В случае, если величина нахлестки, определяемая по формулам (12.5) и (12.6), превышает 65 мм, кольцевое соединение подлежит усилению с применением заклепок.

Таблица 12.10

Выбор коэффициента запаса прочности n_c кольцевых соединений, выполняемых мягкой и твердой пайкой (по нормам Балашихинского машиностроительного завода им. 40-летия Октября)

конструкция паяного соединения по рисунку	Соединения			
	непросвечиваемые рентгеном		просвечиваемые рентгеном	
	Припой			
	мягкие	твердые	мягкие	твердые
12.4, а	20	30	14	20
12.4, б	14	20	10	15
12.5, а				
12.5, б	15	22		
12.6, а	14	20		
12.6, б	16	24		
12.7, а	26	40		
12.7, б	20	30		

винтов или болтов (рис. 12.8). Крепежные детали рассчитываются на полное несение нагрузки, а пайка служит только средством уплотнения.

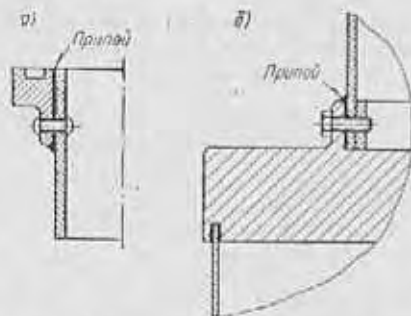


Рис. 12.8. Плотные прочные болтовые (винтовые) или анкерные соединения деталей на мягком припое: а — присоединение бурта к трубе на анкерных; б — присоединение обечайки к трубной доске на болтах (винтах)

12.3. РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОК С ТРУБНЫМИ РЕШЕТКАМИ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Конструкция соединения трубок с трубными решетками теплообменных аппаратов при помощи мягкой пайки показана на рис. 12.9.

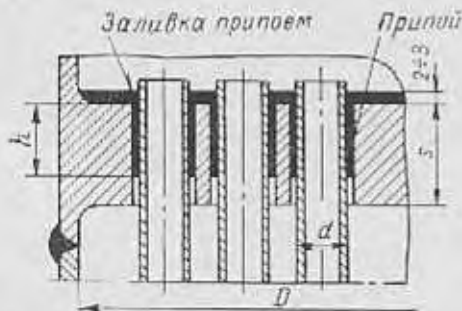


Рис. 12.9. Соединение трубок с трубной решеткой теплообменных аппаратов на мягкой пайке

Минимальную глубину пропайки трубок в трубных решетках прямоотрубных теплообменных аппаратов определяют по формуле

$$h = \frac{pD^3}{4z d \tau_{ср}} \quad (12.6)$$

где p — расчетное избыточное давление в Мн/м^2 (кг/см^2);
 D — диаметр окружности трубной решетки, подверженной давлению, в м (см);
 z — количество трубок;
 d — наружный диаметр трубки в м (см);
 $\tau_{ср}$ — допускаемое в паяном соединении напряжение сдвига в Мн/м^2 (кг/см^2), определяемое по формуле (12.7).

Коэффициент запаса прочности паяного соединения трубки с трубной решеткой $n_c = 20 \div 30$. Действительную глубину пропайки трубок в трубной решетке принимают равной: при $p_p \leq 3 \text{ Мн/м}^2$; $h \geq 2d$, где d — диаметр трубки; при $3 < p_p \leq 20 \text{ Мн/м}^2$ $h = s$, где s — толщина решетки. При толщине решетки $s < 2d$ пропайка трубок должна быть сквозной.

12.4. ПРОЧИЕ СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ МЯГКОЙ И ТВЕРДОЙ ПАЙКОЙ

На рис. 12.10 показан узел соединения штуцеров с трубами и деталями корпуса аппарата (обечайкой, днищем и др.). Тонкостенные трубки условного прохода до $D_u = 10 \text{ мм}$ включительно присоединяются на припое ПСр12М

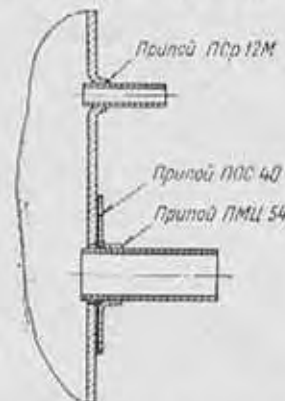


Рис. 12.10. Узел пайки па- трубка и трубок к обечайкам, днищам и трубам

ПСр12М с отглажкой кромок отверстия в основной детали. Штуцера условных проходов свыше 10 мм присоединяются при помощи бортиной на мягком припое ПОС 40. Соединение бортиной с па- трубками производится на твердом припое ПМЦ 54.

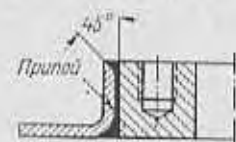


Рис. 12.11. Узел соеди- нения бобышки с корпу- сом аппарата на твердом или мягком припое

На рис. 12.11 показана конструкция соединения бобышки с медным корпусом аппарата. Пайка может выполняться как твердыми, так и мягкими припоями в зависимости от требуемой прочности соединения.

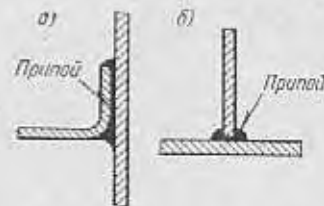


Рис. 12.12. Узел пайки гарни- туры к корпусу аппарата при соединении: а — анахлестку; б — агаар

Соединение с корпусом аппарата ребер жесткости, лап и других деталей посредством твердой пайки рекомендуется выполнять соответственно рис. 12.12.

СКЛЕИВАНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

13.1. СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ ПО ТЕХНОЛОГИИ СКЛЕИВАНИЯ И ПРОЧНОСТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Таблица 13.1

Выбор клеев в зависимости от сочетания склеиваемых материалов [81, 116, 149, 186, 214]

Соединение конструкционных материалов склеиванием в последние годы находит все более широкое применение в различных отраслях машиностроения, в том числе и в химическом аппаратостроении.

Особенно широко применяются клеевые соединения при изготовлении аппаратуры из таких неметаллических материалов, как фюлит, винипласт, полистилен, углеграфитовые материалы, древесина, древеснослоистые пластики и др.

Антикоррозионная футеровка аппаратуры из углеродистой стали, древесины и бетона химически стойкими неметаллическими материалами — мягкой резиной, эбонитом и полубонитом, полиизобутиленом и винипластом, а также кислотоупорными плитками из керамики, стекла и углеграфитовых материалов — и вообще соединение деталей из неметаллических материалов с деталями из металлов и сплавов возможны только благодаря склеиванию их.

Основным преимуществом клеевых соединений является возможность получения прочно-плотных соединений разнородных металлических и неметаллических материалов в любом их сочетании, чего невозможно достигнуть сваркой или пайкой.

Наряду с этим клеевые соединения обладают рядом существенных недостатков, к которым относятся: низкая теплостойкость их, не превышающая для большинства клеев 60° С и для специальных теплостойких клеев 250° С; необходимость применения в большинстве случаев местного нагрева склеиваемых поверхностей и создания определенного давления прессования в процессе отвердевания клеев; старение клеевых соединений, часто сопровождаемое снижением механической прочности их, отсутствие надежных методов контроля качества клеевых соединений.

Выбор клеев в зависимости от сочетания склеиваемых материалов рекомендуется производить по табл. 13.1. Рекомендуемая технология склеивания конструкционных материалов в различных сочетаниях их с применением клеев различных марок приведена в табл. 13.2 и 13.3.

Склеиваемые материалы	Рекомендуемые клеи
Металлы и сплавы между собой и в любом сочетании с различными неметаллическими материалами — керамикой, фарфором, стеклом, пластмассами, древесиной, кожей, тканями и т. п.	БФ-2; БФ-4; BC-10Т; BC-350; BK-32-200
Стекло органическое	РАФ-10
Полиизобутилен с древесиной, бетоном и углеродистой сталью	Клей № 8 (универсальный самополимеризующийся)
Полистилен	ЭД-5; ЭД-6
Винипласт с винипластом	Перхлорвиниловый клей (10—12%-ный раствор перхлорвинилового смолы в метилхлориде) по ВТУ М.164-52
Винипласт с металлом, деревом, бетоном и другими материалами	ПЭД-Б по ВТУ НИИПМ П-283-82
Фторопласт-4 с фторопластом-4	ЭД-5; ЭД-6; БФ-2; БФ-4

Таблица 13.2

Рекомендуемые режимы склеивания металлов клеями различных марок [188]

Марка клея	Консистенция клея	Количество слоев клея	Время открытой выдержки после нанесения клея, мин		Температура открытой выдержки, °С	Толщина слоя под давлением, мм	Температура склеивания, °С	Удельное давление при прессовании, МПа	Время выдержки под давлением, ч	Расход жидкого клея, кг/м ²
			первого слоя	последнего слоя						
БФ-2	Жидкий	2—3	50—60	60—70	15—90	0,1—0,4	130—160	0,5—2,0	0,5—1,0	0,15—0,20
БФ-4	Жидкий + пленка	1	60—70	—						0,10—0,12
BC-10Т	Жидкий	1—2	60	60	15—30	0,1—0,4	140—180	0,05—0,5	1—2	0,15—0,20
	Жидкий + пленка	1		—						0,10—0,12
BC-350	Жидкий	2		60	—	0,2—0,4	200	0,06—0,2	2	0,15—0,20
	Жидкий + пленка	1		—						0,10—0,12

Продолжение табл. 13.2

Марка клея	Консистенция клея	Количество слоев клея	Время открытой выдержки после нанесения клея, мин		Температура открытой выдержки, °С	Толщина клеевой пленки, мм	Температура склеивания, °С	Удельное давление при прессовании, МПа/кг	Время выдержки под давлением, ч	Расход жидкого клея, кг/м ²
			первого слоя	последнего слоя						
БК-32-200	Жидкий	1-2	15-20	90-100	15-65	—	140-180	0,6-2,0	1-2	0,15-0,20
	Жидкий+пленка	1	90-100	—							0,2-0,4	0,4-1,5	0,10-0,12
РАФ-50	Жидкий	2	60	До отлипания	50-60	—	200	0,5-1,0	2	—
ЭД-5		1	До отлипания	—	15-30		120-150		4-6	0,15-0,20
ЭД-6					18-20		18-20		24	—
Карбинольный					3-5		15-30		40-45	12	0,10-0,20

Рекомендуемые режимы склеивания неметаллических материалов и металлов с неметаллическими материалами клеями различных марок [188]

Таблица 13.3

Марка клея	Консистенция клея	Количество слоев клея	Время открытой выдержки после нанесения клея, мин		Температура открытой выдержки, °С	Толщина клеевой пленки, мм	Температура склеивания, °С	Удельное давление при прессовании, МПа/кг	Время выдержки под давлением, ч	Расход жидкого клея, кг/м ²	
			первого слоя	последнего слоя							
БФ-2	Жидкий	2-3	50-60	60-70	15-90	—	130-160	0,5-2,0	0,5-1,0	0,15-0,20	
БФ-4	Жидкий+пленка	1	60-70	—						0,1-0,4	0,10-0,12
ВС-10Т	Жидкий	1-2	60	60	15-30	—	140-180	0,05-0,5	1-2	0,15-0,20	
	Жидкий+пленка	1		—						0,2-0,4	0,10-0,12
ВС-350	Жидкий	2		60	60	0,2-0,4	200	0,06-0,2	2	0,15-0,20	
	Жидкий+пленка	1		—	0,10-0,12						
РАФ-10	Жидкий	2	До отлипания	—	50-60	—	20-30 70	0,05-0,15	24 1	0,07-0,09	
ЭД-5; ЭД-6		1			До отлипания		—		15-30	120-150	0,05-0,5	4-6	0,15-0,20
ПУ-2/10			120	20-30				0,02-0,2	72	—	
«Дейкопал»			30-40 5-10	18-20 40-45				Вулканизация	—	—	—
88-Н			2	8-10				1-3	18-30	18-30	0,02-0,03	24	0,5-0,6

Детали из винилпласта можно склеивать между собой и приклеивать к другим материалам: бетону, металлу, дереву и т. п. Для склеивания применяется перхлорвиниловый клей (10–20%-ный раствор перхлорвиниловой смолы в дихлорэтаноле, метилхлориде, ацетоне или другом растворителе) или другие клеи на основе перхлорвинилового и глифталевого смол [186]. Прочность склеивания зависит от размера и состояния склеиваемых поверхностей, от состава клея, условий склеивания, а также от точности выполнения технологии. Прочность склеенных соединений обычно превышает прочность сварных соединений винилпласта.

Склеивание полиэтилена рекомендуется производить при температуре 80°С с применением клеев на основе синтетических каучуков в смеси с синтетическими смолами. Листы полиэтилена склеивают внахлестку при длине нахлеста не менее 10 мм, что обеспечивает 100%-ную прочность шва.

Для склеивания полиэтилена рекомендуется эпоксидный клей следующего состава: эпоксидная смола ЭД-5 или ЭД-6 (100 масс. ч.), полиэтиленполиамин (7 масс. ч.), дибутилфталат (2 масс. ч.). В случае применения этого клея необходима предварительная химическая обработка склеиваемых поверхностей специальным составом: бихромата калия (2 масс. ч.) и концентрированной серной кислоты (1 масс. ч.) [149].

Склеивание фторопласта-4 производится после предварительной обработки склеиваемых поверхностей специальным аммиачно-натриевым раствором (1000 масс. ч. сухого жидкого аммиака при температуре –40°±–45°С плюс 10 г металлического натрия). Детали из фторопласта-4 опускают в этот раствор на 1–5 сек, после чего их промывают водой. Обработанная таким способом поверхность хорошо склеивается любыми клеями, в частности эпоксидными клеями ЭД-5, ЭД-6 или клеями БФ-2, БФ-4 и др. [186].

При обработке деталей из фторопласта-4 аммиачно-натриевым раствором необходимо строго соблюдать правила по технике безопасности, так как раствор склонен к самовозгоранию и при попадании воды или при контакте раствора с влагой воздуха возможны взрывы. Раствор также чувствителен к кислороду воздуха. Поэтому во время работы необходимо обеспечить над раствором непрерывный ток сухого азота, охлажденного до температуры порядка –45°С, не содержащего кислород. Раствор разрешается хранить только в сосудах из нержавеющей стали или из стекла; совершенно непригодны для хранения раствора сосуды из углеродистой стали, алюминия и меди.

При возгорании раствор следует тушить только сухой порошкообразной содой, применение воды или пенных и сухих углекислотных огнетушителей недопустимо [186].

В табл. 13.4 приведены прочностные характеристики склеенных соединений металлов, неметаллических материалов и металлов с неметаллическими материалами при различных температурах испытания образцов.

13.2. РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ КЛЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Клеевые соединения хорошо сопротивляются деформациям сдвига и неудовлетворительно работают на растяжение (отрыв) и особенно — на неравномерный отрыв. Поэтому при конструировании клеевых соединений нужно стремиться к тому, чтобы последние работали только на сдвиг.

На рис. 13.1 показаны типовые клеевые соединения листового материала.

При изготовлении химической аппаратуры из металлов и сплавов в настоящее время основным технологическим процессом является сварка и в ряде случаев пайка. Соединения листового металла склеиваемые встык или внахлестку (типы 1, 2, 3 и 4 на рис. 13.1) могут быть рекомендованы лишь для разнородных металлов и сплавов, сварка или пайка которых невозможны по технологии изготовления или нецелесообразны по условиям эксплуатации оборудования. Клеевые соединения листового материала встык (типы 5 и 6 на рис. 13.1) широко применяются

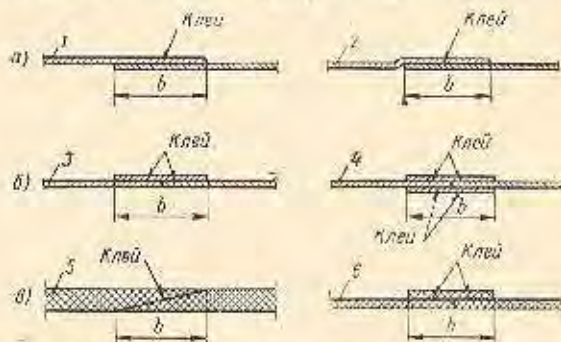


Рис. 13.1. Типовые клеевые соединения листового материала: а и б — металлов и сплавов; в — неметаллических материалов; 1 и 2 — соединения внахлестку; 3 и 4 — соединения встык с одной накладкой; 5 — соединения встык с двумя накладками; 6 — соединения встык с скосом кромок

при изготовлении химической аппаратуры из фторопласта, винилпласта, полиэтилена, а также при антикоррозионной футеровке листовым полиизобутиленом, мягкой вулканизированной резиной, полуболистом и зболистом аппаратов из углеродистой стали, древесины и бетона.

Если клеевое соединение нагружено усилием P , вызывающим в шве напряжение сдвига, то величину нахлеста или ширину накладки b в мм (см) (рис. 13.1) определяют по формулам (13.1) и (13.2). Для соединений внахлестку и встык с одной накладкой или со скосом кромок (по типу 1, 2, 3, 5 и 6 на рис. 13.1)

$$b = \frac{P}{l_{ш} \tau_{сд}} \quad (13.1)$$

где P — сила, действующая вдоль листов перпендикулярно направлению шва, Mn (кгс);

$l_{ш}$ — длина шва, m (см);

$\tau_{сд}$ — допускаемое напряжение при сдвиге, Mn/m^2 (кгс/см²).

Для клеевых соединений, работающих при статической нагрузке,

$$\tau_{сд} = \frac{\tau_{сд}^t}{n_c} \quad (13.2)$$

где $\tau_{сд}^t$ — предел прочности клевого соединения при сдвиге при соответствующей температуре испытания образца, Mn/m^2 (кгс/см²) (принимается по табл. 13.4 или определяется экспериментально);

n_c — коэффициент запаса прочности клевого соединения, принимаемый в зависимости от предельной степени надежности конструкции ($n_c = 8-12$).

Для соединений встык с двумя накладками (тип 4 на рис. 13.1)

$$b = \frac{P}{2l_{ш} \tau_{сд}} \quad (13.3)$$

где обозначения величин те же, что и в формуле (13.1).

Характеристика прочности клеевых соединений металлов и неметаллических материалов различных сочетаний [105, 186]

Материалы, подвергаемые склеиванию	Марка или наименование клея	Предел прочности, Mn/M^2 (не менее)		Материалы, подвергаемые склеиванию	Марка или наименование клея	Предел прочности, Mn/M^2 (не менее)		
		при отрыве	при сдвиге			при отрыве	при сдвиге	
Сталь со сталью	Д-96	83	24	Латунь с латунию	Д-16	73	29	
	Д-54	77	50		ПД-20	9,5	—	
	Д-16	75	35		ПФЭ-2/10	—	19	
	ПД-20	25	—		ПУ-2/10	—	10	
	Карбинольный	22	20		БФ-2; БФ-4	—	8	
	БФ-2; БФ-4	15	10		ВС-10Т	—	5	
	ВС-10Т	—	17		Сталь с дюралю	Карбинольный	22	20
	ВС-350	—	15	Сталь со стеклом	БФ-2; БФ-4	13	—	
	ПФЭ-2/10	—	10		Карбинольный	10	10	
	ПУ-2/10	—				БФ-2; БФ-4	15	—
Алюминиевый сплав с алюминиевым сплавом	Д-96	80	25	Сталь с текстолитом	БФ-2; БФ-4	3	—	
	Д-54	73	38		Бакелитовый	3	—	
	Д-16	75	36	Сталь с эбонитом	БФ-2; БФ-4	15	10	
	Карбинольный	22	20	Сталь с резиной	2572	6—10	—	
	ПД-20	17,6	—		«Лейконат»	4		
	БФ-2; БФ-4	—	10		200	3		
	ПФЭ-2/10	—	9		88-Н	0,4—1,1		
	ПУ-2/10	—		Термопреновый	0,25			
Медь с медью	ПФЭ-2/10	—	10	Текстолит с текстолитом	Карбинольный	—	12,5	
	ПУ-2/10	—			ВС-10Т		2,5	
Никель с никелем	ПД-20	23,9	—		ПУ-2/10		—	9
	ВС-10Т	—	7,5		ПФЭ-2/10		—	—
Латунь с латунию	Д-96	80	24	Фторопласт-4 с фторопластом-4	БФ-2; ЭД-6; РАФ-10; ВС-350	—	4—5	
	Д-54	76	39					

Прямолинейные швы обечаек из неметаллических материалов выполняют по типу 5 и 6 (рис. 13.1). При формировании обечаек или труб из сырых фаялитовых листов применяют швы типа 5 (рис. 13.1), причем ширину косого

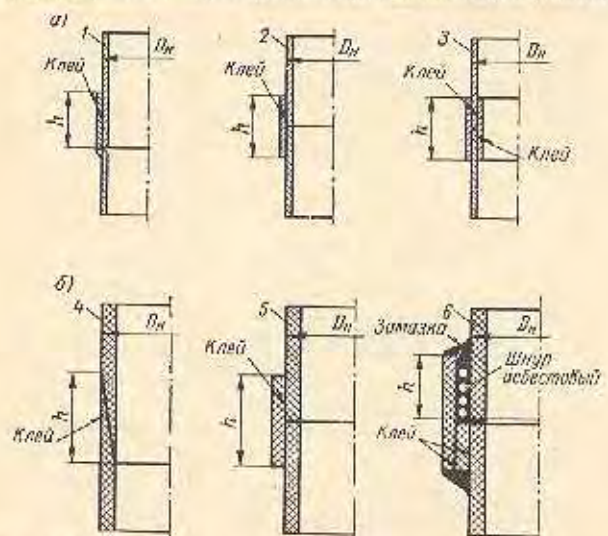


Рис. 13.2. Типовые клеевые соединения цилиндрических деталей: а — труб из металлов и сплавов; б — труб и обечаек аппаратов из неметаллических материалов; 1 и б — соединения вращающихся труб; 2 и 5 — соединения веток, усиленные наружным кольцом; 3 — соединение веток, усиленное наружным и внутренним кольцом; 4 — соединение веток со скосом кромок.

среза принимают не менее 150 мм, даже если по расчету на прочность получен меньший размер b [60].

На рис. 13.2 показаны типовые кольцевые клеевые соединения цилиндрических деталей — труб и обечаек аппаратов.

Соединения типа 1, 2 и 3 (рис. 13.2) преимущественно применяют при необходимости соединения труб из разнородных металлов и сплавов, когда склеивание является единственным или наиболее рациональным способом исполнения конструкции. Соединения типа 4, 5 и 6 (рис. 13.2) широко применяются при изготовлении аппаратуры из неметаллических материалов. При этом кольцевые швы обечаек выполняются по типу 5 и 6, а соединения труб — по типу 4, 5 и 6.

Для труб и обечаек аппаратов из неметаллических материалов, подверженных внутреннему избыточному давлению, величину нахлеста или длину втулки h в мм (см) (рис. 13.2) определяют по формуле

$$h = \frac{pD_n}{4\tau_{сд}}, \quad (13.4)$$

где p — расчетное избыточное давление в $\text{МПа}/\text{М}^2$ ($\text{кгс}/\text{см}^2$); D_n — наружный диаметр обечайки или трубы в мм (см); $\tau_{сд}$ — допускаемое напряжение при сдвиге в $\text{МПа}/\text{М}^2$ ($\text{кгс}/\text{см}^2$), определяемое по формуле (13.2).

Склеиваемые детали цилиндрической формы необходимо припасовать друг к другу с обеспечением оптимального зазора $\leq 0,05$ мм на сторону для жидких клеев и 0,1—0,2 мм — для пастообразных клеев. Для получения на деталях необходимой перед склеиванием шероховатой поверхности их обрабатывают наждачной шкуркой или применяют пескоструйную обработку.

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ ХИМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

ГЛАВА 14

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ, ПОЛОЖЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Химические аппараты предназначаются для осуществления в них какого-либо одного или одновременно нескольких химических, физических или физико-химических процессов (химические реакции, теплообмен без изменения агрегатного состояния, испарение, конденсация, кристаллизация, растворение, выпарка, ректификация, абсорбция, адсорбция и т. д.). К химическим аппаратам обычно относятся и емкости для сброса и хранения различных жидких, твердых и газообразных веществ.

В зависимости от назначения химические аппараты (чаще всего по протекающему в них основному технологическому процессу) называются: реактор, теплообменник, испаритель, конденсатор и т. д.

Перерабатываемые вещества в аппаратах могут быть: в любом агрегатном состоянии (твердом, жидком, газообразном), различной химической активности (по отношению к конструкционным материалам) — от инертных до агрессивных, для обслуживающего персонала — от безвредных до токсичных и в эксплуатации — от безопасных до взрыво-пожароопасных.

Условия осуществления различных физико-химических процессов в химических аппаратах, протекающих при самых разнообразных температурах от минус 250° С и ниже до 900° С и выше, наряду с атмосферным давлением, большей частью требуют применения избыточного давления от незначительного до 300 Мн/м^2 и выше или вакуума с остаточным давлением до 10^{-2} н/м^2 (10^{-3} мм вод. ст.) и даже более глубокого.

Характер работы аппаратов бывает непрерывный и периодический, а установка их может быть стационарной (в помещении или на открытой площадке) и не стационарной (предусматривающей или допускающей перемещение аппарата).

Конструкция аппарата разрабатывается исходя из основных технических требований, предъявляемых к аппарату, и условий, при которых аппарат будет эксплуатироваться. К числу основных требований относятся: назначение и среда, техническая характеристика (производительность, емкость, поверхность теплообмена и т. п.), параметры технологического процесса (давление и температура), а также надежность и безопасность.

После детального ознакомления с техническими требованиями, изучения работы аналогичных аппаратов в эксплуатационных условиях, с патентными материалами и т. п. конструирование следует начинать с выбора основного конструкционного материала, отвечающего основным условиям технологического процесса, протекающего в аппарате, характеризуемому средой, давлением и температурой.

Выбор конструкционного материала производится исходя из необходимой химической стойкости, требований прочности при заданных давлении и температуре, с учетом стоимости материала, его недефицитности и технологии изготовления.

Для агрессивных сред, в ряде случаев, представляется целесообразным и экономически оправданным, а иногда и единственно возможным применение внутри аппарата защитного слоя, наносимого на основной конструкционный материал из особо химически стойких металлических или неметаллических материалов.

Данные по выбору конструкционного материала помещены в первом разделе Справочника. После выбора конструкционного материала составляется конструктивная схема аппарата, определяются основные габаритные размеры* и производится расчет на прочность отдельных узлов и деталей с целью определения их номинальных расчетных размеров (толщины стенок, фланцев и других деталей и т. д.).

В процессе разработки конструкции аппаратов к номинальным расчетным размерам обычно добавляются различные прибавки на коррозию, износ, а также по конструктивным, технологическим и другим соображениям (например, соображениям жесткости, в целях унификации т. д.).

Конструктивные размеры округляются, как правило, в большую сторону: для сварной аппаратуры — до размеров, имеющихся в соответствующих сортаментах на прокат (предпочтительно рекомендованных в последних); для литой аппаратуры — до четных размеров (в мм); для кованой аппаратуры — до размеров, оканчивающихся на 5 или 0 (в мм).

Многие из узлов и деталей в аппаратах, независимо от вида и типа последних, являются общими. К ним относятся: обечайки, днища, рубанки, укрепления отверстий в стенках, трубы, обмуровка, фланцевые, резьбовые и байонетные соединения, крышки, трубные решетки, различные тарелки, компенсаторы, штуцера, вводы и выводы труб, указатели уровня, люки, опоры, перемешивающие устройства, приводы к ним и ряд других.

В настоящем разделе Справочника помещены краткие сведения об этих узлах и деталях (главным образом для металлической аппаратуры) и необходимые данные по конструированию и расчету их.

Изложение материала по каждому из видов узлов и деталей, как правило, дано в такой последовательности: назначение, типовые и нормализованные конструкции

* Согласно химико-технологическому, или теплотехническому расчету.

с рекомендациями по их применению, данные по конструированию и расчету, примеры по расчету.

Конструирование химической аппаратуры необходимо производить с максимальным использованием стандартизованных и нормализованных узлов и деталей, проверенных в изготовлении и хорошо зарекомендовавших себя в эксплуатации. Отдельные узлы и детали, так же как и аппарат в целом, должны быть технологичными в изготовлении, удобными в сборке, разборке и эксплуатации, транспортабельными, ремонтоспособными. Форма их должна быть простой, предпочтительно обтекаемой и одновременно удовлетворяющей требованиям технической эстетики.

Применение фланцевых, резьбовых и других разъемных соединений в аппаратах по возможности следует избегать, поскольку такие соединения — по сравнению с неразъемными соединениями (сварными, паяными) — сложнее и дороже в изготовлении и менее надежны в эксплуатации.

Крышки, люки и другие узлы с разъемными соединениями должны предусматриваться в аппаратах только в обоснованных случаях: когда это связано с технологическим процессом (например, периодическая загрузка, выгрузка и др.), при необходимости частого осмотра внутренних полостей и устройств и при специфических условиях эксплуатации аппарата. Присоединение трубопроводов к аппаратам целесообразно производить на сварке вместо широко распространенных фланцевых соединений, особенно при стационарной установке аппаратов, требующих повышенной надежности.

Всегда следует стремиться к экономии конструкционного материала, к уменьшению массы деталей, узлов и всего аппарата, но без ущерба для предъявляемых к ним главных основных требований (надежности, безопасности и т. д.). Исключительное внимание при конструировании узлов и деталей и аппаратов в целом должно быть обращено на надежность и безопасности в эксплуатации, что является одним из главных критериев при оценке качества выполненной конструкции и ее технического уровня.

Приведенные в Справочнике методы расчета узлов и деталей базируются на соответствующих официальных руководящих технических материалах РТМ и нормах, а также других литературных данных. При этом заимствованные расчетные формулы (с указанием источника) даны без выводов, часто упрощены и приведены к более удобному для пользования виду с соответствующими пояснениями. В ряде случаев предложены новые расчетные формулы, которые даются с выводами. Имеющиеся в литературе табличные данные по значениям различных коэффициентов во многих случаях с целью удобства пользования преобразованы в графики, позволяющие находить требуемые коэффициенты непосредственно по графику (без интерполяции) в пределах допустимой при расчетах погрешности.

При расчете узлов и деталей на механическую прочность и устойчивость расчет следует производить на самые неблагоприятные условия для прочности и устойчивости аппарата, возможные в эксплуатации (при работе, пуске, остановке, различных испытаниях и т. д.). Поэтому, в частности, во всех расчетных формулах, в которых имеется расчетное давление p (или p_n), под последним следует понимать максимальную возможную в эксплуатации разность давлений между внутренней и наружной сторонами рассчитываемой детали (элемента).

На том же основании расчетная температура $t_{ср}$ детали (узла) или расчетная разность температур $\Delta t_{ср}$ между отдельными деталями (узлами) в аппарате должны быть наивысшие возможные в эксплуатации, являющиеся наихудшими для прочности или устойчивости рассчитываемой детали (узла).

В случае применения антикоррозионной защиты (антикоррозионный слой биметалла, металлические и неметаллические покрытия и т. д.), наличие последней при расчете деталей на прочность не учитывается.

Рабочее, расчетное, условное и пробное давления

Одной из главных определяющих величин при расчете на прочность узлов и деталей химических аппаратов, работающих под избыточным давлением, является давление среды в аппарате. Различают: рабочее, расчетное, условное и пробное давления.

Под рабочим давлением понимается избыточное давление среды в аппарате, возникающее при нормальном или допускаемом форсированном протекании технологического процесса, без учета кратковременного повышения давления в аппарате (до 10% от рабочего).

Под расчетным давлением (внутренним p , наружным p_n) понимается избыточное давление среды в аппарате, на которое производится расчет аппарата на прочность и устойчивость.

Расчетным давлением, как правило, является рабочее давление. Гидростатическим давлением в аппарате (при наличии в нем жидкости), если величина его до 5% от рабочего, пренебрегают. В противном случае расчетное давление p в Мн/м^2 (кгс/см^2) для нижней части аппарата следует определять по формуле *

$$p = p_c + g \rho_{жж} H_{жж} 10^{-6}, \quad (14.1)$$

где p_c — рабочее избыточное давление среды в Мн/м^2 (кгс/см^2);

g — ускорение силы тяжести в м/сек^2 (см/сек^2);

$\rho_{жж}$ — плотность жидкости в кг/м^3 ($\frac{\text{кгс} \cdot \text{сек}^2}{\text{см}^4}$);

$H_{жж}$ — высота столба жидкости в м (см).

Для высоких колонных аппаратов расчетные давления целесообразно определять по зонам, условно разбивая аппарат по высоте на несколько зон.

При повышении давления в аппарате во время действия предохранительных устройств более чем на 10% от рабочего расчетное давление принимается равным 90% от давления при полном открытии предохранительного устройства ($\frac{\text{ОН 26-01-13-65}}{\text{Н 1039-65}}$).

Для аппаратов, предназначенных для переработки или хранения пожаро-взрывоопасных сред, расчетные давления следует принимать согласно табл. 14.1.

Для аппаратов, предназначенных для переработки или хранения сжиженных газов, расчетное давление в любом случае должно приниматься не ниже упругости паров их при температуре $+50^\circ \text{C}$. В табл. 14.2 приведены минимальные расчетные давления для некоторых наиболее распространенных сжиженных газов.

Для литых аппаратов при рабочем давлении в них, меньшем $0,2 \text{ Мн/м}^2$, расчетное давление принимается не менее $0,2 \text{ Мн/м}^2$. При вакууме в аппарате последний рассчитывается на внутреннее давление на $0,1 \text{ Мн/м}^2$ и на наружное давление в зависимости от величины вакуума. При этом, если остаточное давление в аппарате $\leq 5000 \text{ н/м}^2$ (500 мм вод. ст.), расчетное наружное давление рекомендуется принимать $0,1 \text{ Мн/м}^2$ ($1,0 \text{ кгс/см}^2$).

Под условным давлением понимается максимальное избыточное давление среды в аппарате, допускаемое в эксплуатации (без учета гидростатического давления от столба жидкости) при температуре стенок аппарата 20°C . Для более высоких температур стенок аппарата условные давления должны быть соответственно снижены пропорционально понижению допускаемых на-

* При расчете в общепринятой системе единиц множитель 10^{-6} исключается, а вместо $\rho_{жж}$ можно подставить $\gamma_{жж}$ (кгс/см^3).

Таблица 14.1

Расчетные давления в аппаратах, предназначенных для хранения и переработки пожаро-взрывоопасных сред

Рабочее избыточное давление среды p_c или p_{nc}	Расчетное избыточное давление p или p_K	Давление (избыточное) срабатывания предохранительного клапана p_K
<i>Мн/м²</i>		
Без избыточного давления: при емкости аппарата $< 30 \text{ м}^3$; при емкости аппарата $\geq 30 \text{ м}^3$ *	0,01 **	—
	0,005 **	—
$< 0,05$	0,06 **	$p_c + 0,03$ ***
0,05—0,07	0,1 **	$p_c + 0,04$ ***
$> 0,07—0,3$	$1,2p_c$ [67], по не менее 0,3	$p_c + 0,05$ [67]
$> 0,3—6,0$	1,2 p_c [67]	1,15 p_c [67]
$> 6,0$		1,1 p_c [67]

* Кроме аппаратов, устанавливаемых на открытой площадке.
** По данным Гипрокаучука.
*** Рекомендуется авторами.

быть не менее расчетного давления аппарата (или части его), для которого предназначаются эти узлы и детали. Пробное, или испытательное давление — это давление, на которое подлежат испытанию на прочность и плотность сосуды и аппараты при изготовлении и периодически — при эксплуатации.

Аппараты, работающие под избыточным давлением, подлежат указанному испытанию по нормам, приведенным в табл. 14.4.

Таблица 14.2

Минимальные расчетные давления в аппаратах, предназначенных для переработки или хранения некоторых сжиженных газов [15]

Сжиженный газ		Расчетное избыточное давление p или p_{nc} <i>Мн/м²</i>
Углеводороды	группа C_3 (пропан, пропилен и др.)	1,8
	группа C_4 (бутан, бутYLEN, дивинил, изобутан, изобутилен и др.)	0,6
	группа C_5 (изопрен, пентан и др.)	0,3
Аммиак		1,6
Фреон-12		1,0
Сернистый ангидрид		0,8
Хлористый метил		0,9
Углекислый газ		7,6

давления при этих температурах для каждой марки металла.

В табл. 14.3 приведен ряд условных давлений, обязательный к применению при стандартизации и нормализации и рекомендуемый при проектировании аппаратов. Вместе с тем, при проектировании аппаратов допускается принимать давления, отличные от условных, соответствующие конкретным давлениям технологического процесса, для которого предназначается тот или иной аппарат.

Условное давление комплектующих и стандартизованных, а также нормализованных узлов и деталей должно

Гидравлические испытания, как правило, проводятся водой, реже маслом. Величина испытательного давления p_K для нижней части аппарата определяется по формуле (14.1), в которой вместо p_c подставляется p_c согласно табл. 14.4.

В отдельных обоснованных случаях допускается заменять гидравлическое испытание пневматическим на то же пробное давление с соблюдением особых требований техники безопасности.

Таблица 14.3

Ряд условных давлений для нормализованных химических аппаратов и их узлов (в соответствии с ГОСТом 9493—60)

Условные давления, <i>Мн/м²</i>										
—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,07	—
0,1	—	0,16 *	0,2 *	0,25 *	0,3	0,4 *	0,5 *	0,6	—	0,8
1,0	1,25	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,4	—	8,0
10	12,5	16	20	25	32,5	40	50	63	70	80
100	125	160	200	—	—	—	—	—	—	—

* Рекомендуется применять преимущественно для изделий из цветных металлов.

Таблица 14.4

Нормы пробного гидравлического давления при испытании аппаратов, работающих под избыточным давлением [67, 164]

Вид аппарата	Расчетное давление p или $p_{н}^*$ $Мн/м^2$ ($кгс/см^2$)	Пробное гидравлическое давление $p_{пр}$ $Мн/м^2$ ($кгс/см^2$)
Сварной, паяный	$< 0,05$ (0,5)	$\frac{p \sigma_{д}^{20}}{\sigma_{д}^t} + 0,05$ (0,5), но не менее 0,06 (0,6)
	$0,05$ (0,5) + $\pm 0,07$ (0,7)	$\frac{1,5 p \sigma_{д}^{20}}{\sigma_{д}^t}$, но не менее 0,1 (1,0)
	$\geq 0,07$ (0,7), но $< 0,5$ (5,0)	$\frac{1,5 p \sigma_{д}^{20}}{\sigma_{д}^t}$, но не менее 0,3 (3,0)
Сварной, паяный, кованый	$\geq 0,5$ (5,0)	$\frac{1,25 p \sigma_{д}^{20}}{\sigma_{д}^t}$, но не менее $p + 0,3$ (3,0)
Литой	Независимо от давления	$\frac{1,5 p \sigma_{д}^{20}}{\sigma_{д}^t}$, но не менее $p + 0,3$ (3,0)

Примечание. Величины пробного гидравлического давления указаны без учета гидростатического давления столба жидкости в аппарате.

Аппараты, работающие под атмосферным давлением и под наливом, испытываются водой или смазанным швом (сварных, паяных) керосином по ГОСТу 3242—54.

Аппараты, работающие под вакуумом с остаточным давлением более 600 н/м^2 (60 мм вод. ст.), обычно испытываются внутренним избыточным давлением на $0,2 \text{ Мн/м}^2$ [164]. При вакууме в аппарате с остаточным давлением 600 н/м^2 (60 мм вод. ст.) и менее герметичность его, кроме того, проверяется гелиевым течеискателем.

Рабочая и расчетная температуры

Весьма важным при расчете на прочность узлов и деталей является определение их расчетной температуры. В связи с этим различают рабочую и расчетную температуры.

Под рабочей температурой следует понимать температуру среды в аппарате при протекании в нем нормального или допустимого форсированного технологического процесса.

Расчетная температура стенки и других внутренних деталей аппарата при температуре среды в нем менее 250°C принимается равной максимально возможной в эксплуатации температуре среды.

При обогревании стенки и других деталей аппарата открытым пламенем, горячими газами с температурой 250°C и выше или открытыми электронагревателями расчетная температура этих деталей принимается равной температуре среды, соприкасающейся с указанными деталями, увеличенной на 50°C , но не менее 250°C .

При наличии в аппарате изоляции расчетная температура его стенки и других деталей принимается равной температуре поверхности изоляции, соприкасающейся с этими деталями (определяемой теплотехническим расчетом), увеличенной на 20°C .

Для аппаратов, в которых осуществляется теплообмен, средняя расчетная температура стенок (труб, кожуха, пластины, ребер и т. д.) определяется теплотехническим расчетом.

Сила тяжести (вес)

В расчетах, где требуется учитывать нагрузку от силы тяжести (веса) G в н (кгс), значение ее определяется:

при заданной массе m в кг ($\frac{\text{кгс} \cdot \text{сек}^2}{\text{см}}$) изделия, содержащего и т. д.

$$G = mg; \quad (14.2)$$

при заданном объеме V в м^3 (см^3) материала изделия, содержащего и т. д.*

$$G = V \rho g. \quad (14.3)$$

Допускаемые напряжения

Допускаемые напряжения в узлах и деталях при расчете их на прочность и устойчивость выбираются в зависимости от прочностных характеристик конструкционного материала при расчетной температуре. Прочностные характеристики, в свою очередь, зависят от технологии изготовления (сварки, литья,ковки,штамповки), термообработки, характера действия нагрузок (статической, динамической), размеров деталей (толщины стенок из проката, литья, поковок), а также с учетом особенностей среды в аппарате и условий эксплуатации.

Для узлов и деталей аппаратов из основных конструкционных металлических материалов (стали, цветных металлов и их сплавов), подверженных статическим нагрузкам от внутреннего или наружного избыточного давления, и при вакууме в аппарате, а также при действии на них ветровых и сейсмических нагрузок, установлены номинальные (нормативные) — без учета условий эксплуатации аппарата — допускаемые напряжения $\sigma_{д}^*$.

Эти допускаемые напряжения применяются при расчете деталей на растяжение, сжатие и изгиб. При расчете на кручение и срез номинальные допускаемые напряжения при прочих равных условиях рекомендуется применять с коэффициентом 0,6.

Величины номинального допускаемого напряжения $\sigma_{д}^*$ в Мн/м^2 (кгс/см^2) в зависимости от прочностных характеристик конструкционного материала при расчетной температуре определяется по одной из следующих формул:

$$\sigma_{д}^* = \frac{\sigma_{д}^t}{n_{д}}; \quad (14.4)$$

$$\sigma_{д}^* = \frac{\sigma_{д}^t}{n_{д}}; \quad (14.5)$$

$$\sigma_{д}^* = \frac{\sigma_{д}^t}{n_{д}}; \quad (14.6)$$

$$\sigma_{д}^* = \sigma_{д}^t. \quad (14.7)$$

* При расчете в общепринятой системе единиц вместо н можно подставлять γ (кгс/см^2).

Выбор расчетной формулы при определении номинального допускаемого напряжения производится по табл. 14.5.

Таблица 14.5

Выбор расчетной формулы при определении номинального допускаемого напряжения σ_d^* для основных конструкционных металлических материалов
(по ОН 26-01-13-65)
(по Н 1039-65)

Конструктивный материал	Расчетная температура, °С	Расчетная формула при определении σ_d^*	
Сталь	углеродистая	≤ 380	(14.4) и (14.5)
		> 380	(14.5), (14.6) и (14.7) *
	низколегированная	≤ 420	(14.4) и (14.5)
		> 420	(14.5), (14.6) и (14.7) *
	легированная аустенитного класса	≤ 525	(14.4) и (14.5)
		> 525	(14.5), (14.6) и (14.7) *
Алюминий, медь и их сплавы	Не регламентировано	(14.4) и (14.6)	
Титан и его сплавы **		(14.4), (14.5) и (14.6)	

Берется меньшее значение

* Формула (14.7) применяется при отсутствии данных по пределу длительной прочности или в соответствии с технически обоснованными требованиями заказчика.
** По рекомендации авторов.

Значения запасов прочности для основных конструкционных металлических материалов
(по ОН 26-01-13-65)
(по Н 1039-65)

Запас прочности	Сталь углеродистая, низколегированная, легированная и высоколегированная, титан и его сплавы *				Алюминий, медь и их сплавы
	Прокат и доковки		Литье		
	при изготовлении давлением в аппарате $< 0,5 \text{ МПа}$	при изготовлении давлением в аппарате $\geq 0,5 \text{ МПа}$	при выдержке в длительном контроле качества	прочие	
n_a	2,6		3,25	3,6	3,5
n_T	1,65 **	1,5	1,85	2,1	—
n_D	1,5				
n_n	1,0		—	—	—

* По рекомендации авторов.
** По рекомендации авторов вместо 1,5 по ОН 26-01-13-65 для обеспечения 1,1-кратного запаса прочности к пределу текучести (при температуре плюс 20°С) при пробных испытаниях аппаратов согласно [67].

ных напряжений для стали и основных цветных металлов (завышение для последних запасов прочности по пределу прочности и игнорирование при этом предела текучести) являются недостаточно обоснованными и не всегда применимыми.

Значения запасов прочности для основных металлических конструкционных материалов приведены в табл. 14.6.

На рис. 14.1 и 14.2 приведены графики (построенные по табличным данным) для определения номинальных допускаемых напряжений в зависимости от расчетной температуры для наиболее распространенных в химическом аппаратостроении марок конструкционной стали (ОН 26-01-13-65)
(Н 1039-65).

При расчете на прочность узлов и деталей из алюминия, меди и их сплавов, подвергающихся в процессе изготовления и сборки сварке или пайке, механические характеристики для таких деталей необходимо принимать соответствующие отожженному состоянию, поскольку нагрев при сварке или пайке снимает упрочнения, полученные металлом в холодном состоянии.

При отрицательных значениях расчетной температуры деталей номинальные допускаемые напряжения для них принимаются такими же, как при температуре 20°С. Последнее обусловливается тем, что величины σ_d и σ_T у всех металлов с понижением температуры повышаются и, следовательно, наилучшими условиями для прочности деталей, работающих при отрицательных температурах, будет температура 20°С, при которой производится испытание аппаратов.

Следует отметить, что установленные ОН 26-01-10-65
(Н 1039-65) различные нормы по определению номинальных допускаемых

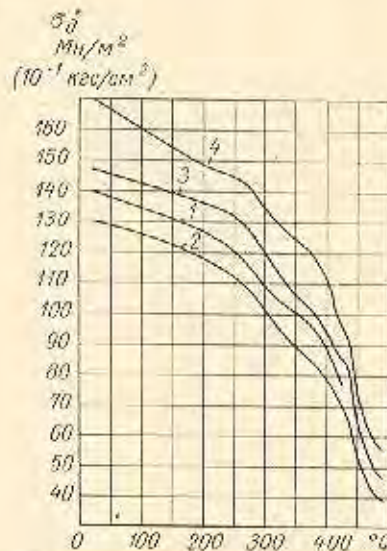


Рис. 14.1. Номинальные допускаемые напряжения σ_d^* для наиболее распространенных в химическом аппаратостроении марок углеродистой и низколегированной стали. Марки стали: 1 — Ст. 3; 2 — 10; 3 — 20 и 20К; 4 — 09Г2С и 16ГС.

Так, согласно $\frac{ОН\ 26-01-13-65}{Н\ 1039-65}$, величина σ_{δ}^* для цветных металлов должна определяться как меньшее значение из (14.4) и (14.6), практически же σ_{δ}^* большей частью определяется только по одному пределу прочности (14.4).

Для большинства цветных металлов величина σ_{δ}^* , определенная по пределам текучести (14.5) (в данном случае по имеющимся в литературе условным пределам текучести $\sigma_{0,2}$), получается меньше, чем по пределу прочности (даже с повышенным запасом прочности), и, следовательно, по аналогии со сталью должна быть принята за расчетную.

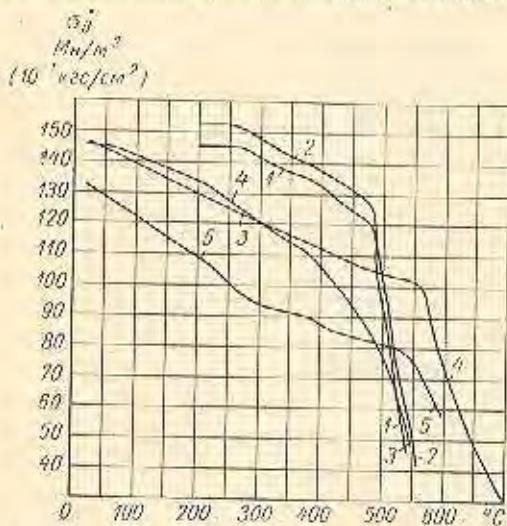


Рис. 14.2. Номинальные допустимые напряжения σ_{δ}^* для наиболее распространенных в химическом аппаратостроении марок теплостойкой и кислотостойкой стали. Марки стали: 1—12ХМ; 2—15ХМ; 3—Х5М; 4—Х18Н10Т; Х18Н12Т; Х7Н13М3Т и Х7Н13М2Т; 6—0Х18Н10Т и 0Х18Н12Т

Номинальные допустимые напряжения σ_{δ}^* , $\sigma_{сж}^*$, $\sigma_{из}^*$, $\tau_{сд}^*$ и $\tau_{ср}^*$ в $Мн/м^2$ ($кгс/см^2$) для деталей из хрупких металлических материалов (чугун, бронза и др.), имеющих различные прочностные характеристики в зависимости от вида нагрузок (растяжения, сжатия, изгиба и т. д.), рекомендуется определять однозначно по следующим формулам:

при растяжении — по (14.4);
при сжатии

$$\sigma_{сж}^* = \frac{\sigma_{сж}^l}{n_{\sigma}}; \quad (14.8)$$

при изгибе

$$\sigma_{из}^* = \frac{\sigma_{из}^l}{n_{\sigma}}; \quad (14.9)$$

при кручении и срезе

$$\tau_{сд}^* = \tau_{ср}^* \approx \sigma_{\delta}^* \quad (14.10)$$

Запасы прочности для деталей из таких материалов, подверженных действиям статических нагрузок, рекомендуется принимать $n_{\sigma} = 4 \div 5$.

Неметаллические конструкционные материалы, как правило, имеют также различные прочностные характе-

ристики в зависимости от вида нагрузок. Для большинства этого вида материалов — асбобинила, графита, керамики, полистирола, текстолита, фаолита, фарфора, фторопласта-3 и т. п. — характер изменения прочности аналогичен чугуну (максимальная при сжатии, минимальная при растяжении, промежуточная при изгибе). Для некоторых материалов (винилпласта, стекла, органического стекла, полиэтилена и др.) характер изменения прочности несколько отличен (максимальная при изгибе, минимальная при растяжении, промежуточная при сжатии). Наконец, встречаются и такие материалы (кварцевое стекло, фторопласт-4 и др.), у которых максимальная прочность — при сжатии, минимальная — при изгибе, промежуточная — при растяжении.

Особые прочностные характеристики имеют конструкционные материалы из дерева любых пород. Такие материалы в силу неоднородности их структуры имеют различные прочностные характеристики не только в зависимости от вида нагрузки, но и от того, как направлена последняя (вдоль или поперек волокон). Изменение прочности в зависимости от вида нагрузок для всех пород дерева характеризуется максимальной величиной при растяжении, минимальной — при сжатии и промежуточной — при изгибе. При этом по абсолютной величине все значения пределов прочности вдоль волокон значительно выше (до 10 и более раз), чем поперек волокон [82]. Прочность на сдвиг и кручение для дерева примерно в 10 раз ниже, чем на растяжение.

Номинальные допустимые напряжения для деталей из всех неметаллических материалов можно определять однозначно в зависимости от вида нагрузок соответственно по формулам (14.4), (14.8), (14.9) и (14.10). При этом в последнем случае допустимое напряжение на кручение и срез рекомендуется принимать равным наименьшему из допустимых напряжений на растяжение, сжатие или изгиб для каждого из материалов.

Запасы прочности для деталей из неметаллических материалов при действии статических нагрузок рекомендуется принимать: для хрупких материалов $n_{\sigma} \geq 5$; для пластичных материалов $n_{\sigma} \geq 4$.

Следует иметь в виду, что запасы прочности, а следовательно, и номинальные допустимые напряжения, для некоторых неметаллических материалов должны выбираться в зависимости не только от вида нагрузок, но и от срока службы — с увеличением последнего допустимые напряжения должны уменьшаться. В частности, это относится к винилпласту, для которого на рис. 14.3 приведены графики (построенные по табличным данным РТМ 26-01-6-65*) для определения номинальных допустимых напряжений в зависимости от срока службы и расчетной температуры.

Для динамических и переменных циклических нагрузок применение хрупких — при $\sigma_{из} < 0,3 \text{ Мдж/м}^2$ ($3 \text{ кгс} \cdot \text{м/см}^2$) — материалов не допускается. Под динамическими нагрузками понимаются нагрузки, прилагаемые к деталям внезапно, имеющие характер резкого возрастания от нуля до максимальной величины. Таких нагрузок в химической аппаратуре следует избегать.

Под переменными нагрузками понимаются нагрузки, постоянно изменяющиеся в процессе работы по величине от нуля до максимальной или от максимальной до минимальной, в том числе и знакопеременные. Периодическое постепенное изменение нагрузок, имеющее место в химической аппаратуре при пуске, остановке и т. д., относится к разряду статических нагрузок.

Запасы прочности для динамических нагрузок (по сравнению со статическими) при прочих равных условиях

* Метод расчета на прочность элементов сосудов и аппаратов из винилпласта.

Значения коэффициента прочности $\Phi_{ш}$ сварных и паяных соединений
в деталях из металлических конструкционных материалов [119, 184, ОН 26-01-13-65]
Н 1039-65

Вид соединения	Соединяемые материалы	Применение пая	Тип шва	Коэффициент прочности шва $\Phi_{ш}$					
				Сталь углеродистая низколегированная, легированная, высоколегированная и двухслойная	Медь, латунь, бронза	Алюминий и его сплавы	Никель и его сплавы	Титан и его сплавы	
Сварка	автоматическая под слоем флюса	Сталь углеродистая, низколегированная, легированная, высоколегированная и двухслойная (в любой композиции), однородные цветные металлы и их сплавы, а также медь с латунью и бронзой	При возможности сварки с двух сторон; для обечаек $D_s \geq 500$ мм	Стыковой двусторонний	1,0	0,9	0,85	0,8	0,95
			При невозможности сварки с двух сторон; для обечаек $D_s < 500$ мм	Стыковой односторонний	0,8	—	0,7	—	—
			При возможности сварки с двух сторон; для обечаек $D_s \geq 700$ мм	Стыковой двусторонний	0,95	0,85	0,8	0,75	0,9
			При невозможности сварки с двух сторон, если возможно применение подкладки; для обечаек любого D_s	Стыковой односторонний с подкладкой	0,9	0,8	0,75	0,7	0,85
			При невозможности сварки с двух сторон и применения подкладки; для обечаек $D_s \leq 650$ мм	Стыковой односторонний	0,7	0,65	0,6	0,55	0,65
Пайка	твердыми припоями	Медь, латунь, бронза, сталь углеродистая, низколегированная и высоколегированная (в любой композиции)	При невозможности сварки и отсутствии опасности электролитической коррозии соединяемых материалов и шва	Ваузец или с косым стыком (прямолинейные) и внахлестку (кольцевой)	0,7—1,0 (меньшее значение для композиционной пайки, большее — для однородной)				

следует увеличивать не менее чем в 1,5 раза, а для переменных по знаку нагрузок — не менее чем в 2 раза [21].

При расчете на прочность аппаратов из пластичных при рабочей температуре материалов (при $a_n \geq 0,3 \text{ Мдж/м}^2$), подверженных статическим нагрузкам, концентрация напряжений от краевых сил и моментов в местах соединений обечаек с плоскими днищами, трубными решетками, у отверстий в стенках и т. д. — не учитывается.

Расчет аппаратов из хрупких материалов (при $a_n < 0,3 \text{ дж/м}^2$), а также аппаратов из пластичных матери-

алов при динамической или переменной нагрузке следует производить с учетом указанной концентрации напряжений. В любом случае в местах концентрации напряжений следует осуществлять конструктивные мероприятия, снижающие концентрацию (плавные переходы, галтели и т. д.).

Кратковременные повышения напряжений в узлах и деталях из металлических пластичных материалов — при пробных испытаниях аппарата, действия предохранительных устройств и т. д. — должны иметь не менее 1,1-кратный запас прочности к пределу текучести (при соответствующей температуре).

Поправочный коэффициент

Окончательные допускаемые напряжения, которые должны приниматься при расчете на прочность узлов и деталей, в общем виде следует определять по формуле

$$\sigma_d = \eta \sigma_d^* \quad (14.11)$$

где η — поправочный коэффициент, учитывающий условия эксплуатации аппарата;

σ_d^* — номинальное допускаемое напряжение в Мн/м^2 (кгс/см^2).

$$\frac{\sigma_d^*}{\text{Мн/м}^2} \quad (10^{-1} \text{ кгс/см}^2)$$

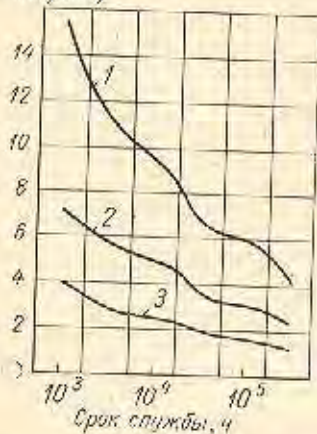


Рис. 14.3. Номинальные допускаемые напряжения σ_d^* для винипласта в зависимости от срока службы и расчетной температуры. При расчетной температуре: 1 — 20° С; 2 — 40° С; 3 — 60° С

Величина поправочного коэффициента (согласно ОИП 26-01-13-65

Н 1039-65 в пределах 0,9—1,0) определяется при проектировании в зависимости от условий эксплуатации, опасности и вредности обрабатываемых сред.

Значения η рекомендуется выбирать исходя из следующих соображений:

для узлов и деталей аппаратов, предназначенных для обработки или хранения под давлением или без него взрыво-пожароопасных продуктов, а также продуктов высокой токсичности — с обогревом этих узлов и деталей открытым пламенем, топочными газами или открытыми электронагревателями $\eta = 0,9$;

то же, но для необогреваемых узлов и деталей или при обогреве, но с надежной изоляцией их от источников нагрева, а также для узлов и деталей аппаратов, предназначенных для обработки или хранения под давлением или без него всех прочих продуктов с обогревом этих узлов и деталей открытым пламенем, топочными газами или открытыми электронагревателями $\eta = 0,95$;

во всех остальных случаях $\eta = 1,0$.

Коэффициенты прочности сварных и паяных соединений

При соединении отдельных деталей (как из металлических, так и неметаллических материалов) между собой сваркой или пайкой прочность их большей частью меньше, чем цельного материала. Поэтому при расчете на прочность узлов и деталей, имеющих сварные или паяные соединения (швы), в расчетные формулы вводятся соответствующие коэффициенты прочности швов $\psi_{ш}$, величина которых характеризует прочность соединения в сравнении с прочностью основного материала.

Виды сварки и пайки, технология их производства, а также конструкция сварных и паяных швов для различных конструктивных материалов помещены во втором разделе Справочника.

Значения коэффициентов прочности наиболее распространенных сварных и паяных соединений для основных металлических конструктивных материалов в зависимости от конструкции шва с указанием области их применения приведены в табл. 14.7.

Значения коэффициентов прочности некоторых сварных соединений для основных неметаллических материалов приведены в табл. 14.8.

Таблица 14.8

Значения коэффициента прочности $\psi_{ш}$ сварных соединений в деталях из основных неметаллических конструктивных материалов [16, 26, 121, 186]

Материал	Коэффициент прочности шва $\psi_{ш}$		
	стыкового одно-стороннего	стыкового двух-стороннего	внахлестку
Винипласт	0,35	0,5	0,5
Кварцевое стекло	0,7	0,9	—
Оргстекло	0,4	—	0,4
Полиизобутилен	0,75	—	0,75
Полистирол	0,4	—	0,4
Полиэтилен	0,9	—	—

Прибавки к номинальным расчетным толщинам

При расчете узлов, деталей и отдельных элементов аппаратов на прочность необходимо учитывать химическое и механическое воздействие рабочей среды на материал аппарата. Поэтому к номинальной расчетной толщине детали или элемента аппарата дается прибавка C .

Величина суммарной прибавки C в мм в общем виде определяется по формуле

$$C = C_k + C_c + C_d + C_o \quad (14.12)$$

где C_k — прибавка на коррозию или другой вид химического воздействия рабочей среды на материал в мм;

C_c — прибавка на эрозию или другой вид механического воздействия рабочей среды на материал в мм;

C_d — дополнительная прибавка по технологическим, монтажным и другим соображениям в мм;

C_o — прибавка на округление размера в мм. Величина прибавки C_k зависит от химической проницаемости среды в конструкционный материал и расчетного срока службы аппарата. Данные о химической проницаемости и стойкости основных конструктивных материалов в химическом аппаратостроении, рекомендуемых для применения в различных средах, помещены в гл. 8.

Расчетный срок службы аппарата, если это специально не оговорено в техническом задании, на основании статистических данных принимается 10—15 лет.

Значения прибавки C_k в зависимости от химической проприетаемости среды, исходя из расчетного срока службы аппарата 10 лет, рекомендуется выбирать согласно следующим данным:

для стойких материалов в заданной среде с проприетаемостью не более 0,05 мм/год $C_k = 0$;

для материалов с проприетаемостью более 0,05 до 0,1 мм/год, а также для стойких материалов в заданной среде при отсутствии данных о проприетаемости $C_k = 1$ мм.

Применение материалов, проприетаемость которых в заданной среде более 0,1 мм/год, следует избегать. В случае же использования таких материалов прибавка C_k определяется в каждом конкретном случае исходя из срока службы аппарата по формуле (8.1).

В случае применения защитного покрова, стойкого к заданной среде (антикоррозионный слой биметалла, обкладка металлическими и неметаллическими материалами, нанесение металлического покрова, эмалирование, гуммирование и т. д.) $C_k = 0$.

При двустороннем контакте с агрессивной средой прибавка C_k соответственно увеличивается.

Прибавка C_d на эрозию или другое механическое воздействие среды на детали в химических аппаратах большей частью не учитывается. Учитывать такое воздействие рекомендуется в тех случаях, когда имеет место движение среды в аппарате со значительными скоростями (для жидких сред при $w \geq 20$ м/сек, для газообразных сред при $w \geq 100$ м/сек), при наличии в движущейся среде абразивных твердых частиц, а также при ударном действии среды на деталь. Величина прибавки во всех этих случаях берется на основании опытных данных с учетом срока службы данной детали аппарата.

Величина дополнительной прибавки C_d зависит от вида детали, технологии ее изготовления и ряда других соображений.

Применявшаяся ранее при конструировании прибавка на минусовой допуск по толщине листа (для деталей, выполняемых из соответствующего проката) в последнее время при расчетах большей частью во внимание не принимается. Это обуславливается тем, что расчет производится по допускаемым напряжениям, определяемым исходя из минимальных значений механических характеристик, гарантированных соответствующими ГОСТами и ТУ.

Кроме того, номинальные расчетные размеры увеличиваются разного рода прибавками и округляются в большую сторону до размеров, определенных сортаментом.

Аппаратура, подведомственная госгортехнадзору

Химическая аппаратура, предназначенная для работы под избыточным давлением свыше 0,07 МПа (0,7 кгс/см²)*, для хранения или транспортировки сжиженных газов под атмосферным давлением, но опорожняемая путем перекачивания под указанным избыточным давлением, а также для хранения или транспортировки сжиженных газов, давление паров которых при температуре плюс 50°С превышает 0,07 МПа, должна отвечать «Правилам устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением» [67].

Указанные «Правила» не распространяются на аппараты емкостью не более 25 дм³**, у которых произведение емкости в дм³ (литрах) на избыточное рабочее давление в МПа составляет не свыше 20 (произведение в литрах на давление в кгс/см² — не свыше 200), а также на аппараты той же емкости, используемые для научно-экспериментальных целей, независимо от рабочего давления и

температуры, а также на аппараты, состоящие из труб с $d_s \leq 100$ мм без коллекторов или с последними, выполненными из труб $d_s \leq 150$ мм.

К конструкциям аппаратов, подведомственных «Правилам», предъявляются следующие общие требования.

1. Доступ для периодического внутреннего осмотра. Внутренний осмотр должен осуществляться: а) при наличии съемных крышек путем снятия их; б) при отсутствии съемных крышек — через специальные лазы или люки, располагаемые в местах, доступных для обслуживания. Лазы могут быть круглыми и овальными. Диаметр в свету круглых лазов должен быть не менее 400 мм.

Размеры овальных лазов должны быть: больший — 400 мм, меньший — 325 мм (но не менее 300 мм). Лазы устанавливаются на аппаратах с $D_s > 800$ мм.

Аппараты с $D_s \leq 800$ мм должны иметь круглые или овальные люки с размером меньшей оси 80 мм. В случае невозможности устройства таких люков, допускается установка меньших люков или выполнение отверстий, закрывающихся пробками на резьбе или фланцевыми заглушками.

Аппараты, состоящие из кожуха и труб с завальцовкой или приваркой последних в трубных решетках, разрешается выполнять без лазов независимо от диаметра аппарата.

2. Внутренние устройства в аппарате (мешалки, змеевики, тарелки, перегородки и др.), препятствующие осмотру, должны быть, как правило, съемными. В отдельных обоснованных случаях — по согласованию с Госгортехнадзором — допускается внутренние устройства выполнять несъемными.

Рубашки, применяемые для наружного обогрева или охлаждения аппарата, разрешается выполнять приварными.

3. Шарнирно-откидные или вставные болты, зажимные приспособления люков, лазов, крышек и фланцев должны быть предохранены от сдвига или ослабления. Опрокидывающиеся аппараты или отдельные устройства их должны быть снабжены приспособлениями, предотвращающими самоопрокидывание.

4. При сварке обечайки продольные и поперечные швы должны быть преимущественно стыковыми. Допускается тавровое соединение при приварке к обечайкам плоских днищ, фланцев, трубных решеток, штуцеров и других аналогичных элементов, а также двусторонняя приварка впаздкестку отбортованных днищ к обечайке при толщине стенки отбортованной части днища не свыше 16 мм.

5. В стыковых сварных соединениях равной толщины для всех отбортованных элементов расстояние l от оси сварного шва до начала закругления отбортованного элемента должно быть:

$l \geq 15$ мм при толщине стыкуемых элементов	$s \leq 5$ мм;
$l \geq 2s + 5$ мм при толщине стыкуемых элементов	$s > 5$ до 10 мм;
$l \geq s + 15$ мм при толщине стыкуемых элементов	$s > 10$ до 20 мм;
$l \geq 0,5s + 25$ мм при толщине стыкуемых элементов	$s > 20$ мм.

6. В стыковых сварных соединениях разной толщины необходимо предусматривать плавный переход от одного элемента к другому путем постепенного утонения более толстого элемента на длину, равной не менее пятикратной разности толщин стыкуемых элементов.

Если разница в толщине стыкуемых элементов составляет не более 30% от толщины тонкого элемента и не превышает 5 мм, то допускается применение сварных швов без утонения толстого элемента, с обеспечением в шве плавного перехода от толстого элемента к тонкому.

* Без учета гидростатического давления.

** При определении емкости аппарата, состоящего из нескольких отдельных корпусов, соединенных между собой трубами с $d_s \leq 100$ мм, каждый корпус рассматривается как отдельный аппарат.

ОБЕЧАЙКИ

Все физико-химические процессы, осуществляемые в химических аппаратах, прежде всего требуют наличия емкости, ограниченной корпусом. Эти корпуса по условиям протекающих в них процессов должны быть достаточно прочными и в подавляющем большинстве случаев герметичными.

Главным составным элементом корпуса является обечайка — наиболее материалоемкий и ответственный узел (деталь) любого химического аппарата. Форма корпуса, а следовательно, и обечайки определяется химико-технологическими требованиями, предъявляемыми к тому или иному аппарату, а также конструктивными соображениями и может быть цилиндрической, коробчатая, коническая, сферическая и т. д.

15.1. ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ОБЕЧАЙКИ

Наибольшее распространение в химическом аппарато-строении получили цилиндрические обечайки, отличающиеся простотой изготовления, рациональным расходом материала и хорошей сопротивляемостью давлению среды. Поэтому при конструировании аппаратов, если это не идет в разрез с какими-либо особыми требованиями, предъявляемыми к аппарату, рекомендуется применять цилиндрические обечайки.

В зависимости от назначения цилиндрические аппараты находят применение как в вертикальном, так и в горизонтальном исполнении, причем предпочтение следует отдавать вертикальному исполнению, особенно для тонкостенных аппаратов, работающих при небольшом избыточном давлении в них. В этом случае исключаются дополнительные изгибающие напряжения в корпусе от силы тяжести аппарата и среды, имеющие место в горизонтальных аппаратах, лежащих на отдельных опорах.

Цилиндрические обечайки из пластичных материалов (сталь, цветные металлы и большинство их сплавов, винилпласт и др.) при избыточном давлении среды в аппарате до 10 Мн/м^2 изготавливаются преимущественно из листов вальцовкой с последующим соединением стыков чаще всего сваркой. Применявшаяся ранее для этого клеевая

в настоящее время в химическом аппаратостроении не употребляется.

Соединение стыков цилиндрических обечаек из медных и латунных листов помимо сварки осуществляется также пайкой как твердыми, так и мягкими припоями.

Кроме указанного, соединение стыков обечаек из любых металлических и неметаллических материалов возможно производить с помощью различных клеев. Однако данный вид соединения в химическом аппарато-строении широкого применения пока не имеет.

Свальцованные из листов цилиндрические обечайки после соединения стыка сваркой или пайкой проходят технологическую правку (калибровку). Обработка наружной и внутренней поверхностей обечаек на станке обычно не производится.

Цилиндрические обечайки из пластичных материалов (в основном стали) для аппаратов высокого избыточного давления среды в них (10 Мн/м^2 и более) изготавливаются большей частью из поковок (цельных или составных) с соответствующей термообработкой и последующей обработкой внутренней и наружной поверхностей на станке. Кованые цилиндрические обечайки иногда выполняются заодно с днищем.

Наряду с цельными коваными конструкциями обечаек для аппаратов высокого давления находят применение составные конструкции — многослойные, витые и др.




Цилиндрические обечайки из хрупких материалов (чугуны, бронзы, кварцевое стекло и др.) для аппаратов с незначительным избыточным давлением среды в них — не более $0,8 \text{ Мн/м}^2$ — изготавливаются литьем с последующей обработкой внутренней поверхности или без обработки. Литье обечаек обычно выполняется совместно с днищем.

В ряде случаев с помощью литья изготавливаются обечайки и из пластичных материалов (различные стали, цветные металлы и сплавы и др.).

При конструировании цилиндрических обечаек, независимо от материала и технологии их изготовления, преимущественно следует придерживаться внутренних базовых диаметров согласно табл. 15.1.

Внутренние базовые диаметры D_0 (в мм) цилиндрических обечаек
(в соответствии с ГОСТом 9617-82) 76

Таблица 15.1

200	250	300	350	400	(450)*	500	(550)*	600
(650)*	700		800		900		1000	1100*
1200	(1300)*	1400	(1500)*	1600	(1700)*	1800	(1900)*	2000
2200	2400 2500	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800
4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000 7500	8000 8500	9000 9500
10 000	11 000	12 000	14 000	16 000	18 000	20 000	—	—

Примечания:

1. Настоящий ряд диаметров распространяется на металлические обечайки, изготавливаемые из листов. При этом для цветных металлов и сплавов действительны диаметры только до 3800 мм.
2. Для стальных обечаек диаметры, заключенные в скобки, следует применять только для обогреваемых или охлаждаемых рубашек аппаратов.
3. Диаметры, заключенные в прямоугольные рамки, действительны только для обечаек из цветных металлов и сплавов.
4. Настоящий ряд диаметров до 2000 мм рекомендуется применять при конструировании литых и кованых металлических корпусов аппаратов, а также любых корпусов и обечаек — из неметаллических материалов.

Допускается изготовление цилиндрических обечайек из стальных труб с базовыми наружными диаметрами, приведенными в табл. 15.2.

Таблица 15.2

Наружные базовые диаметры D_n (в мм) цилиндрических обечайек из стальных труб (в соответствии с ГОСТом 9617-82) 7С

159	219	273	325	377	426	480
530	630	720	820	920	1020	1120—1220

Соотношения между высотой H цилиндрического корпуса и его внутренним диаметром D_0 для аппаратов вертикального исполнения и между длиной L цилиндрического корпуса и его внутренним диаметром D_0 для аппаратов горизонтального исполнения определяются химико-технологическими требованиями и обычно бывают следующими:

$$\frac{H}{D_0} \leq 30 \text{ и } \frac{L}{D_0} \leq 10.$$

Обечайки вальцованные сварные, паяные и клеевые

Изготовление цилиндрических обечайек вальцеванием из листов является наиболее распространенной технологией изготовления таких деталей для химической аппаратуры, работающей под избыточным давлением до 10 МПа, а также под атмосферным давлением и вакуумом.

При конструировании таких обечайек надлежит руководствоваться следующими основными положениями:

- общая длина швов должна быть возможно меньшей. Поэтому листы желательно выбирать больших размеров, сообразуясь с рациональным раскромом (малыми отходами);
- обечайки вальцуются как по длинной, так и по короткой стороне листа; при раскром листов рекомендуется обеспечить минимальное количество продольных швов в обечайке;

- сварка продольных и поперечных швов у металлических обечайек должна быть только стыковой;

- продольные швы в отдельных смежных обечайках аппарата должны быть смещены по отношению друг друга на величину не менее трехкратной толщины стенки обечайки и не менее чем на 100 мм между осями швов;

- все швы должны иметь доступ для осмотра и, в случае надобности, для подварки, подпайки или подклейки; расположение продольных швов в горизонтальных аппаратах должно быть вне пределов 140° нижней части корпуса, если последняя мало доступна для осмотра;
- отверстия для труб, лазов и т. п. по швам (особенно продольным) делать не рекомендуется;

- допускается сверловка на продольных швах отверстий для приварных штуцеров диаметром до 150 мм при расстоянии между осями смежных штуцеров не менее двух диаметров отверстия, а также установка люков на кольцевых швах при условии укрепления отверстия для них (только для аппаратов, работающих под избыточным давлением более 0,07 МПа).

Обечайки, работающие под наружным избыточным давлением, а также при вакууме в аппарате, подвержены опасности вдавливания стенки внутрь (потери устойчивости). Эта опасность возрастает при отклонении от правильной цилиндрической формы и с увеличением длины обечайки. Поэтому такие обечайки должны приближаться к точной цилиндрической форме, а длину их целесообразно делать возможно меньшей, позволяющей снять толщину

обечайки. Применение при этом цельных обечайек с отношением $\frac{L}{D} > 5$ не рекомендуется. В таких случаях на обечайках целесообразно предусматривать кольца жесткости, которые могут быть расположены как снаружи, так и внутри обечайки, что определяется в основном конструктивными и технологическими соображениями.

Выбор расстояния l между осями колец жесткости производится исходя из конструктивных соображений и рекомендуется в пределах 0,1—5 D_0 ; меньшие значения — для больших D_0 .

Укрепляющие кольца должны охватывать обечайку по всей окружности, а соединение колец с обечайкой должно обеспечивать их совместную работу против наружного давления и других внешних нагрузок. Поэтому, в частности, при приварке укрепляющих колец к обечайке общая длина сварного шва с каждой стороны кольца должна быть не менее половины длины окружности обечайки. В случае приварки колец прерывистыми швами, расстояние между концами соседних швов не должно превышать восьми толщин стенки обечайки.

В качестве укрепляющих элементов могут быть использованы фланцы, опорные кольца и другие наружные или внутренние устройства в аппарате при условии, что конструкция и размеры последних удовлетворяют требованиям жесткости согласно расчету.

Отверстия в обечайках, подверженных наружному давлению, должны быть полностью укреплены.

Толщина стенки обечайек, работающих под внутренним или наружным избыточным давлением, определяется расчетом исходя из требуемой прочности и устойчивости.

Приведенные ниже методики расчета обечайек, работающих под наружным давлением, под действием осевой сжимающей силы и изгибающего момента, применимы для условий, когда расчетная температура стенки обечайки не превышает: для углеродистой стали — 380° С; для низколегированной и легированной стали — 420° С; для аустенитной стали — 525° С; для цветных металлов и их сплавов — при отсутствии ползучести этих материалов.

Что касается обечайек, работающих под наливом и атмосферным давлением, то толщину их стенок большей частью выбирают из конструктивных и технологических соображений с последующей проверкой, в случае необходимости, прочности и устойчивости таких обечайек расчетом. В любом случае толщину стенки (без прибавки на коррозию) вальцованных цилиндрических обечайек рекомендуется принимать не менее указанных в табл. 15.3 в зависимости от диаметра D_0 обечайки.

Допускаемые отклонения размеров и формы цилиндрических обечайек, изготавливаемых из стальных листов, приведены в табл. 15.4 и 15.5. Этих отклонений в основном можно придерживаться и для аналогичных вальцо-

Таблица 15.3

Рекомендуемые минимальные толщины (без прибавки на коррозию) стенок цилиндрических вальцованных обечайек, мм

D_0	<400	≥400 до 1000	>1000 до 2000	>2000 до 4000
s	2	3	4	5

Примечание. Указанные толщины стенок обечайек при возможности коррозии их материала соответственно увеличиваются на коррозионную прибавку S_k .

Таблица 15.4

Допускаемые отклонения на длину окружности развертки и смещение кромок в сварных швах цилиндрических стальных вальцованных обечайек [164]

Толщина стенки обечайки s , мм	Материал обечайек									
	Углеродистая, низколегированная и легированная сталь			Двухслойная сталь			Высоколегированная сталь			
	Допускаемые отклонения, мм									
	по длине окружности развертки	смещение кромок в швах		по длине окружности развертки		смещение кромок в швах		по длине окружности развертки	смещение кромок в швах	
продольном		кольцевом	≤ 2000	> 2000	продольном	кольцевом	продольном		кольцевом	
≤ 14	± 3									
16 и 18	± 5			± 3				± 3		
20	± 7			± 5				± 3		
22 и 24										
26 и 28	± 9	$\leq 0,1s$, но не более 4	$\leq 0,25s$, но не более 6	± 4		$\leq 0,1s$, но не более 3 и не больше толщины плакирующего слоя	$\leq 0,15s$, но не более 3 и не больше толщины плакирующего слоя	± 6	$\leq 0,1s$, но не более 2	$\leq 0,15s$, но не более 3
30—34	± 11			± 6				± 6		
36—38	± 13								± 6	
40—52	± 16			± 8				± 8		
> 52	± 18									

Примечания:

1. Смещение кромок в продольных и кольцевых швах не должно превышать при автоматической сварке — 3 мм; при электродуговой сварке — 2 мм.

2. Смещение кромок в кольцевых швах по внутреннему диаметру обечайек корпусов кожухотрубных теплообменников не должно превышать 1 мм независимо от толщины стенки обечайки.

3. Для обечайек (при $s < 40$ мм) корпусов кожухотрубных теплообменников с прямыми трубами жесткой конструкции и с компенсатором на кожухе допускаемые отклонения по длине окружности развертки должны быть только плюсовые.

Таблица 15.5

Допускаемые отклонения на длину L (высоту H) и форму цилиндрических стальных сварных обечайек [164]

Размер, форма	Допускаемые отклонения
L (H)	$\pm 0,3\% L$ (H), но не более ± 75 мм
Прямолнейность оси	$0,2\% L$ (H), но не более 20 мм при L (H) ≤ 10 м и не более 30 мм при L (H) > 10 м
Цилиндрическая форма	Овальность: при внутреннем давлении в аппарате — в пределах $\leq 1,0\% D$, но не более 20 мм; при наружном давлении или вакууме в аппарате, а также для обечайек корпусов кожухотрубных теплообменников с прямыми трубами жесткой конструкции и с компенсатором на кожухе — в пределах $\leq 0,5\% D$, но не более 20 мм; для обечайек корпусов кожухотрубных теплообменников с прямыми трубами и подвижной трубной решеткой, а также с U-образными трубами — в пределах допуска на D
Параллельность торцовых кромок	$\leq 0,06\% L$ (H), но не более 2 мм

ванных обечайек из цветных металлов и сплавов, а также из неметаллических пластичных материалов, стык которых соединяется сваркой, пайкой или клеевой.

Расчет обечайек, работающих под внутренним давлением

Определение номинальной расчетной толщины стенки s' таких обечайек исходя из прочности рекомендуется производить по формулам, приведенным в табл. 15.6, в зависимости от конструкционного материала, величины отношения заранее известных определяющих параметров σ_0 и p с учетом коэффициента ослабления обечайки в продольном направлении ψ и от того, какой задан базовый диаметр обечайки (внутренний D_0 или наружный D_n).

Предлагаемый однозначный расчет в зависимости от $\frac{\sigma_0}{p}$ ψ получен на основе соответствующего преобразования условия (границы) применения формулы (15.1) (ОН 26-01-13-65) (П 1039-65)

$$\frac{s - C_k}{D_0} \leq 0,1^* \quad (15.5)$$

Последнее, как известно, можно проверить только после определения s , и если формула (15.1) окажется не применимой, то расчет потребует производить вновь по дру-

* Здесь и далее под C_k следует понимать суммарную прибавку на коррозию и эрозию (при наличии таковой).

Таблица 15.6

Формулы для определения номинальной расчетной толщины стенки s' цилиндрических металлических и неметаллических вальцованных (сварных, паяных, клеевых) и литых обечайек, работающих под внутренним давлением

$\frac{\sigma_{\partial}}{p}$	При базовом D_{∂} , м (см)	При базовом D_n , м (см)
	Номинальная расчетная толщина стенки s' , м (см)	
$\geq 5,5$ ≤ 25	для любых материалов	
	$s' = \frac{D_{\partial} p}{2\sigma_{\partial} \varphi - p}$ (15.1)	$s' = \frac{D_n p}{2\sigma_{\partial} \varphi + p}$ (15.2)
≥ 25	для любых материалов	
	$s' = \frac{D_{\partial} p}{2\sigma_{\partial} \varphi}$ (15.3)	$s' = \frac{D_n p}{2\sigma_{\partial} \varphi}$ (15.4)
$< 5,5$	для пластичных металлических материалов	
	по формуле (15.57), см. табл. 15.8	по формуле (15.58), см. табл. 15.8
	для неметаллических и хрупких металлических материалов	
	$s' = 0,5 D_{\partial} \times \left(\sqrt{\frac{\sigma_{\partial} \varphi + p}{\sigma_{\partial} \varphi - p}} - 1 \right)$ (15.8)	$s' = 0,5 D_n \times \left(1 - \sqrt{\frac{\sigma_{\partial} \varphi - p}{\sigma_{\partial} \varphi + p}} \right)^*$ (15.9)
p — расчетное давление в аппарате в $МН/м^2$ ($кгс/см^2$); σ_{∂} — допускаемое напряжение на растяжение для материала обечайки в $МН/м^2$ ($кгс/см^2$). Данные по определению p и σ_{∂} см. в гл. 14.		
* Получена из (15.8) путем подстановки $D_n - 2s'$ вместо D_{∂} .		

той формуле, что неудобно и, в случае повторного расчета, требует дополнительного времени.

Полагая в (15.5) $C_n = 0$ и подставляя значение $s = s'$ из (15.5) в (15.1), получим

$$0,1 D_{\partial} \geq \frac{D_{\partial} p}{2\sigma_{\partial} \varphi - p},$$

или после преобразований

$$\frac{\sigma_{\partial}}{p} \varphi \geq 5,5, \quad (15.6)$$

что является нижним пределом применения формулы (15.1) при базовом D_{∂} .

Заменив в (15.5) D_{∂} на $D_n - 2s'$ и проведя аналогичные предыдущему преобразования (15.5) и (15.2), получим тот же нижний предел применения формулы (15.2) при базовом D_n .

Формулу (15.1) можно упростить в пределах допустимой погрешности расчета толщины стенки в 2% (в меньшую сторону), исключив из знаменателя p . В этом случае имеем

$$\frac{D_{\partial} p}{2\sigma_{\partial} \varphi - p} = 1,02 \frac{D_{\partial} p}{2\sigma_{\partial} \varphi},$$

или после преобразований

$$\frac{\sigma_{\partial}}{p} \varphi \approx 25, \quad (15.7)$$

что является верхним пределом применения формулы (15.1) при базовом D_{∂} .

Тот же результат получается для верхнего предела применения формулы (15.2) при базовом D_n исходя из допустимой погрешности расчета толщины стенки в 2% (в данном случае в большую сторону).

Толщина стенки обечайки s в мм с учетом прибавок определяется по формуле*

$$s = s' + C. \quad (15.10)$$

Выбор прибавки C см. в гл. 14. При этом прибавку на округление толщины C_0 следует принимать, исходя из ближайшего большего размера по соответствующему сортаменту на листовой прокат, из которого изготавливается обечайка.

Коэффициент φ в формулах табл. 15.6 учитывает ослабление обечайки в продольном направлении, которое может быть за счет сварного, паяного или клеевого швов и, кроме того, за счет наличия неукрепленных (или частично укрепленных) отверстий в обечайке (см. гл. 18). Значения коэффициента прочности цилиндрической стенки при ослаблении ее неукрепленными отверстиями зависят от расположения отверстий и их диаметра.

При коридорном расположении отверстий одного диаметра на равном расстоянии друг от друга (рис. 15.1) коэффициент прочности φ_0 определяется:

в продольном направлении по формуле

$$\varphi_0 = \frac{t-d}{t}; \quad (15.11)$$

в поперечном направлении по формуле

$$\varphi_0 = \frac{t_1-d}{t_1}. \quad (15.12)$$

При шахматном расположении отверстий одного диаметра (рис. 15.2) коэффициент прочности определяется: в продольном направлении по формуле (15.11); в поперечном направлении по формуле (15.12); в косом направлении по формуле**

$$\varphi_0 = \frac{1 - \frac{2d}{\sqrt{t^2 + t_1^2}}}{\sqrt{1 - 0,75 \left(\frac{t^2}{t^2 + t_1^2} \right)^n}}. \quad (15.13)$$

* При замене s на h и s' на h' формула применяется в дальнейшем и для определения высоты деталей.

** Получена преобразованием формулы из (4.3.3) [119].

$$\varphi_0 = \frac{1 - \frac{d}{a} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+m^2}}}{\sqrt{1 - 0,75 \left(\frac{m^2}{1+m^2} \right)^n}},$$

где $a = \frac{t}{2}$ и $m = \frac{t_1}{t}$.

В случае чередующихся по величине диаметров отверстий в рядах в формулы (15.11)–(15.13) вместо d подставляется среднее арифметическое значение чередующихся диаметров.

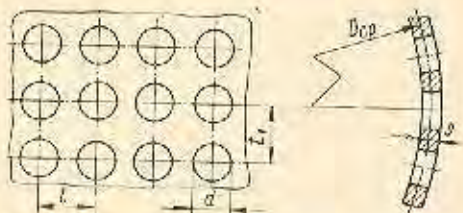


Рис. 15.1. Коридорное расположение отверстий в цилиндрической обечайке

При ряде единичных неукрепленных отверстий разного диаметра в обечайке, расположенных по одной образующей, коэффициент прочности определяется по формуле

$$\varphi_0 = \frac{L - \sum d}{L}, \quad (15.14)$$

где L — длина (высота) цилиндрической обечайки;
 $\sum d$ — максимальная суммарная величина всех отверстий по одной образующей (при частично укрепленных отверстиях $\sum d$ принимается для неукрепленной части отверстий).

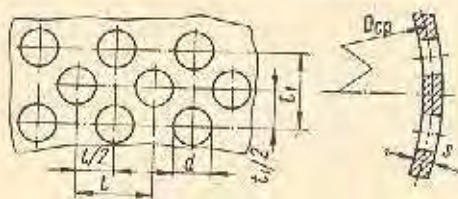


Рис. 15.2. Шахматное расположение отверстий в цилиндрической обечайке

Если обечайка ослаблена рядом отверстий, частично укрепленных приваренными трубами, штуцерами, втулками, то величина приведенного коэффициента прочности φ_0 определяется по формуле из (4.3.6) [119]

$$\varphi_0^* = \frac{\varphi_0}{1 - (1 - \varphi_0) \frac{\sum f}{s'd}}, \quad (15.15)$$

где φ_0 — коэффициент прочности, определенный без учета укрепления отверстий соответственно по формулам (15.11)–(15.13);

$\sum f$ — сумма сечений укрепляющих элементов для одного отверстия (см. гл. 18);

s' — номинальная (при $\varphi = 1$ и $C = 0$) расчетная толщина стенки обечайки.

При расчете обечайки по формулам табл. 15.6 значения коэффициента прочности φ следует принимать:

при отсутствии отверстий в стенке или при полностью укрепленных отверстиях $\varphi = \varphi_{ш}$ — для продольного сварного, паяного или клееного шва;

при наличии в стенке рядов неукрепленных отверстий (расположенных вне шва) в зависимости от расположения последних — наименьшее значение из φ_0 по (15.11),

$2\varphi_0$ по (15.12), φ_0 по (15.13) и $\varphi_{ш}$ — для продольного сварного, паяного, клееного шва;

при наличии в стенке рядов частично укрепленных отверстий, так же как и в предыдущем случае, но вместо φ_0 в (15.11)–(15.13) берется φ_0^* по (15.15);

при наличии в стенке единичных неукрепленных отверстий, расположенных по одной образующей (не по продольному шву), меньшее из значений φ_0 по (15.14) и $\varphi_{ш}$ — для продольного шва.

При проверочных расчетах допустимое избыточное давление p_d в Мн/м^2 (кгс/см^2) для обечайки при соблюдении условия (15.5) определяется по формуле

$$p_d = \frac{2\sigma_d \varphi (s - C_k)}{D_e + (s - C_k)}, \quad (15.16)$$

В случае несоблюдения условия (15.5) допустимое давление определяется:

для пластичных металлических материалов — по формуле (15.61); для неметаллических и хрупких металлических материалов по формуле *

$$p_d = \frac{\sigma_d \varphi \left[\left(\frac{s - C_k}{0,5D_e} + 1 \right)^2 - 1 \right]}{\left(\frac{s - C_k}{0,5D_e} + 1 \right)^2 + 1}, \quad (15.17)$$



Рис. 15.3. К примеру 15.1

Пример 15.1. Определить толщину стенки сварной цилиндрической обечайки вертикального аппарата, работающего под внутренним давлением, по следующим данным (рис. 15.3): материал обечайки — сталь марки Ст.3; пропускная способность материала обечайки в среде $\Pi = 0,06 \text{ мм/год}$ ($C_k = 1 \text{ мм}$, $C_p = 0$); среда — жидкость $\rho_{ж} = 1,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ($\gamma = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ кгс/см}^3$) — газ; $p_c = 1,0 \text{ Мн/м}^2$ (10 кгс/см^2); $t_c = 20^\circ \text{ С}$; $D_e = 2,0 \text{ м}$; $H = 5,0 \text{ м}$; обечайка без отверстий; продольный сварной шов ручной стыковой двусторонний ($\varphi_{ш} = 0,95$ — см. табл. 14.7); поправочный коэффициент $\eta = 1$.

Расчетное давление в нижней части обечайки с учетом гидростатического давления столба жидкости определяем по формуле (14.1)

$$p = p_c + \rho_{ж} g H_{ж} 10^{-6} = 1,0 + 9,8 \times 5 \times 1,2 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-6} = 1,058 \text{ Мн/м}^2 \text{ (10,58 кгс/см}^2\text{)}.$$

Номинальное допустимое напряжение для стали марки Ст.3 находим по графику (рис. 14.1)

$$\sigma_d^* = 140 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1400 кгс/см}^2\text{)}.$$

Допустимое напряжение определяем по формуле (14.11)

$$\sigma_d = \eta \sigma_d^* = 1 \cdot 140 = 140 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1400 кгс/см}^2\text{)}.$$

Определим отношение определяющих параметров σ_d и p с учетом коэффициента $\varphi_{ш}$

$$\frac{\sigma_d}{p} \varphi_{ш} = \frac{140}{1,058} \cdot 0,95 = 126 > 25.$$

* Получена путем преобразования формулы (15.8) и замены в ней s' на $s - C_k$.

Номинальную расчетную толщину стенки обечайки для данного отношения согласно табл. 15.6 определяем по формуле (15.3)

$$s' = \frac{D_o \rho}{2\sigma_{\phi_{\text{из}}}} = \frac{2,0 \cdot 1,058}{1 \cdot 140 \cdot 0,95} = 7,95 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 7,95 \text{ мм.}$$

Выбираем прибавку на округление толщины стенки (до ближайшего большего размера по сортаменту) $C_o = 1,05 \text{ мм}$.

Суммарную прибавку к номинальной расчетной толщине стенки при $C_d = 0$ определяем по формуле (14.12)

$$C = C_k + C_o + C_{\phi} = 1 + 0 + 1,05 = 2,05 \text{ мм.}$$

Толщину стенки обечайки с учетом прибавок определяем по формуле (15.10)

$$s = s' + C = 7,95 + 2,05 = 10 \text{ мм.}$$

Проверим условие (15.5)

$$\frac{s - C_k}{D_o} = \frac{10 - 1}{2000} = 0,0045 < 0,1,$$

т. е. условие выполняется.

Допускаемое давление в обечайке определяем по формуле (15.16)

$$\begin{aligned} p_{\text{д}} &= \frac{2\sigma_{\phi_{\text{из}}}(s - C_k)}{D_o + (s - C_k)} = \\ &= \frac{2 \cdot 140 \cdot 0,95(0,01 - 0,001)}{2,0 + (0,01 - 0,001)} = \\ &= 1,19 \text{ Мн/м}^2 \text{ (11,9 кгс/см}^2\text{)}. \end{aligned}$$

Расчет обечаек, работающих под наружным давлением

Номинальная (без прибавок) расчетная толщина стенки s' в м (см) таких обечаек из пластичных металлических материалов, исходя из устойчивости их в пределах упругости (при запасе на устойчивость $n_y = 2,6$), определяется по формуле *

$$s' = 1,18D \left(\frac{p_n}{E^t} \cdot \frac{l'}{D} \right)^{0,4}, \quad (15.18)$$

где D — диаметр обечайки в м (см); в пределах допустимой погрешности — для обечайки с базовым внутренним диаметром $D = D_o$; для обечаек с базовым наружным диаметром $D = D_n$;

l' — расчетная длина обечайки в м (см);

p_n — расчетное наружное давление в Мн/м² (кгс/см²);

E^t — модуль упругости материала обечайки при расчетной температуре t_c в Мн/м² (кгс/см²).

Данные по определению p_n и расчетной температуры стенки $t_{\text{ст}}$ см. в гл. 14, а E^t — в первом разделе.

Расчетной длиной l' обечайки считается:

при наличии фланцев на обечайке — расстояние между фланцами в свету;

при ограничении обечайки эллиптическими или сферическими днищами — длина цилиндрической части обечайки и днищ плюс по $1/3$ эллиптической или сферической части последних;

при ограничении обечайки плоскими днищами — длина обечайки до днищ;

при наличии на обечайке колец жесткости — расстояние между их осями. Если ширина части кольца жесткости $b_k \geq 0,1l'$, расчетной длиной обечайки считается $l' - l - b_k$, где l — расстояние между осями колец жесткости.

Толщина стенки s с учетом прибавок определяется по формуле (15.10).

Формула (15.18) справедлива при соблюдении следующих двух условий:

$$\begin{aligned} 1,5 \sqrt{\frac{2(s - C_k)}{D_o}} \leq \frac{l'}{D_o} \leq \\ \leq \sqrt{\frac{D_o}{2(s - C_k)}}, \quad (15.19) \end{aligned}$$

$$\frac{l'}{D_o} \geq 0,3 \frac{E^t}{\sigma_r^t} \sqrt{\left[\frac{2(s - C_k)}{D_o} \right]^3}, \quad (15.20)$$

где σ_r^t — предел текучести материала обечайки при расчетной температуре t_c в Мн/м² (кгс/см²). В случае несоблюдения (15.20), т. е. при

$$\frac{l'}{D_o} < 0,3 \frac{E^t}{\sigma_r^t} \sqrt{\left[\frac{2(s - C_k)}{D_o} \right]^3}, \quad (15.21)$$

принятую величину s в м (см) необходимо проверить на допускаемое наружное давление $p_{\text{нд}}$ в Мн/м² (кгс/см²) по формуле

$$p_{\text{нд}} = \frac{2\sigma_{\phi}(s - C_k)}{D_o \left[1 + 1,02 \frac{(l')^2 D_o}{(s - C_k)^3} \left(\frac{\sigma_r^t}{E^t} \right)^2 \right]} \geq p_n \quad (15.22)$$

где σ_{ϕ} — допускаемое напряжение на сжатие для материала обечайки в Мн/м² (кгс/см²).

При этом, если $p_{\text{нд}}$ будет отличаться от p_n более чем на 5%, величину $s - C_k$ следует (путем подбора) соответственно изменить.

При проверочных расчетах допускаемое наружное давление $p_{\text{нд}}$ в Мн/м² (кгс/см²) для обечаек из пластичных металлических материалов, у которых имеют место условия (15.19) и (15.21), определяется по формуле (15.22), а если имеют место условия (15.19) и (15.20), то по формуле *

$$\begin{aligned} p_{\text{нд}} = 0,649 E^t \frac{D_o}{l'} \left(\frac{s - C_k}{D_o} \right)^2 \times \\ \times \sqrt{\frac{s - C_k}{D_o}} \geq p_n. \quad (15.23) \end{aligned}$$

Расчет металлических обечаек, работающих под наружным давлением, исходя из устойчивости их в пределах упругости, можно производить в определенных пределах и по номограмме (рис. 15.4).

* Получена путем упрощения формулы (2) из табл. 5 ОП 26-01-13-65 И 1039-65

* Получена путем упрощения (эквивалентной) формулы (1) из табл. 5 ОП 26-01-13-65 И 1039-65

$$s' = 0,47 \frac{D}{100} \left(\frac{p_n}{10^{-4} E^t} \cdot \frac{l'}{D} \right)^{0,4}$$

$$p_{\text{нд}} = 8,49 \cdot 10^{-6} E^t \frac{D_o}{l'} \left[\frac{100(s - C_k)}{D_o} \right]^2 \sqrt{\frac{100(s - C_k)}{D_o}}$$

По этой номограмме, составленной применительно к углеродистой стали, в зависимости от любых двух из трех параметров $\frac{p_{нд}}{E^t}$; $\frac{l'}{D}$; $\frac{s'}{D}$ находится третий, а следовательно, и любая из неизвестных величин (s' , $p_{нд}$, l').

Штрих-пунктирными линиями ограничивается сверху область применения номограммы для расчета обечайки из материала с $E^t = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа/м}^2$ ($2,1 \cdot 10^4 \text{ кгс/см}^2$) для различных пределов текучести σ_T^t .

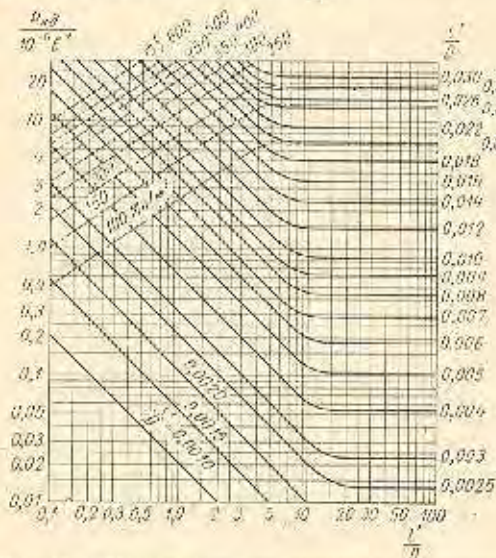


Рис. 15.4. Номограмма для расчета цилиндрических обечайки на устойчивость в пределах упругости при действии наружного давления

При других значениях E^t границы этой области необходимо изменить следующим образом:

по наклонным (штрих-пунктирным) участкам границы для заданного значения σ_T^t по какой-либо из наклонных сплошных линий, соответствующей произвольно выбранному отношению $\frac{l'}{D}$, определяется наименьшее значение $\frac{l'}{D}$, которое умножается на $\frac{E^t}{2,1 \cdot 10^5}$ (при общепринятой системе единиц — на $\frac{E^t}{2,1 \cdot 10^4}$).

Затем на этой же сплошной линии отмечается точка, соответствующая значению $\frac{l'}{D} \cdot \frac{E^t}{2,1 \cdot 10^5}$ (при общепринятой системе единиц на $\frac{l'}{D} \cdot \frac{E^t}{2,1 \cdot 10^4}$), через которую проводится новая граница применимости, параллельно наклонным штрих-пунктирным линиям.

По горизонтальным (штрих-пунктирным) участкам границы — для заданного значения σ_T^t наибольшее значение $\frac{s'}{D}$ умножается на $\sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{E^t}}$ (при общепринятой системе единиц — на $\sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^4}{E^t}}$). Полученное значение будет соответствовать новому положению горизонтального участка границы.

Длинные обечайки (приближенно при $\frac{l}{D} > 5$), у которых

$$\frac{l'}{D} > \sqrt{\frac{D}{2(s - C_k)}}, \quad (15.24)$$

рассчитываются на наружное давление как трубы (см. гл. 19).

Номинальная расчетная толщина стенки обечайки, укрепленных кольцами жесткости, с расстоянием между осями их $\frac{l}{D} > 0,5$ определяется как для гладких обечайки.

Расчет таких укрепляющих колец жесткости производится исходя из совместной работы на устойчивость части обечайки (приходящейся на одно кольцо) и собственно кольца жесткости. Расчетный момент инерции J' в м^4 суммарного поперечного сечения кольца и указанной части обечайки относительно оси, проходящей через центр тяжести суммарного поперечного сечения параллельно образующей обечайки, определяется по формуле (ОН 26-01-13-65)

$$J' = \frac{l'}{12} \left[1,18 \frac{D^3 p_N}{E^t} - (s - C_k)^3 \right]. \quad (15.25)$$

Эффективная длина обечайки l_2 в м (см), которую следует принимать при определении суммарного попереч-

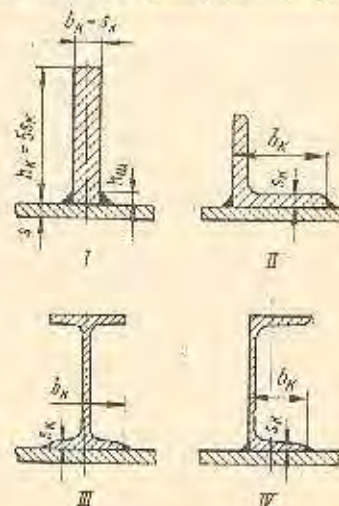


Рис. 15.5. Основные типовые поперечные сечения колец жесткости: I — прямоугольное сечение для любых материалов; II — угловой (равнобокий и неравнобокий) сортовой прокат для стальных аппаратов при $D \geq 1000 \text{ мм}$ и $J' \leq 300 \times 10^{-8} \text{ м}^4$; III и IV — фасонный сортовой прокат для стальных аппаратов при $D \geq 3000 \text{ мм}$ и $J' \geq 300 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4$. При $s \leq s_k$ $h_{из} \approx s$; при $s > s_k$ $h_{из} \approx s_k$.

ного сечения части обечайки и укрепляющего кольца, находится по формуле (ОН 26-01-13-65)

$$l_2 = b_k + 1,1 \sqrt{D(s - C_k)}, \quad (15.26)$$

где b_k — ширина поперечного сечения кольца жесткости, находящаяся в контакте с поверхностью стенки обечайки (см. рис. 15.5) в м (см).

Значение l_2 независимо от расчета должно приниматься не более l и не более $b_k + 30(s - C_k)$. Площадь поперечного сечения кольца жесткости F_k в м^2 (см^2) должна отвечать условию *

$$P_k > \frac{1,3 p_N D l}{\sigma_T^t} - l(s - C_k), \quad (15.27)$$

* Получено путем преобразования формулы (15.30).

Профиль поперечного сечения кольца выбирается в зависимости от D , J' , определенного по (15.25), а также по конструктивным и технологическим соображениям (рис. 15.5).

По выбранному профилю поперечного сечения кольца и его F_K , отвечающему условию (15.27), находится момент инерции площади его поперечного сечения J_K относительно оси, проходящей через центр тяжести сечения параллельно образующей обечайки, и расстояние центра тяжести кольца от срединной поверхности обечайки e .

Исходя из равенства статических моментов площадей суммарного поперечного сечения (кольца жесткости и части обечайки) относительно оси, проходящей через

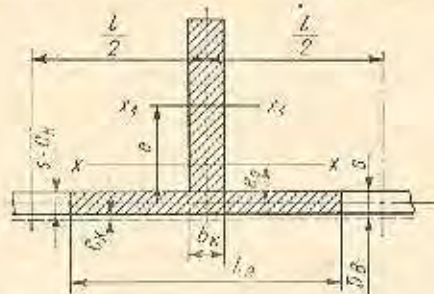


Рис. 15.6. Поперечное сечение кольца жесткости и части цилиндрической обечайки

центр тяжести его параллельно образующей обечайки, находится расстояние центра тяжести этого сечения до срединной поверхности обечайки e_0 в м (см) (рис. 15.6)

$$e_0 = \frac{F_K e}{F_0 + F_K} \quad (15.28)$$

где $F_0 = l_0 (s - C_K)$ — площадь сечения составной части обечайки в м² (см²)

Эффективный момент инерции J_x в м⁴ (см⁴) суммарного поперечного сечения относительно центральной оси $x-x$ (рис. 15.6) должен отвечать условию устойчивости

$$J_x = J_K + F_K (e - e_0)^2 + \frac{F_0 (s - C_K)^2}{10,9} \left[1 + 12 \left(\frac{e_0 - C_K}{s - C_K} \right)^2 \right] \geq J' \quad (15.29)$$

При проверочных расчетах допускаемое наружное давление $p_{нд}$ в Мн/м² (кгс/см²) для обечайки из пластичных металлических материалов, укрепленных кольцами жесткости (при $\frac{l}{D} > 0,5$), у которых имеет место условие (ОН 26-01-13-65) (Н 1039-65)

$$\frac{1,3 p_{нд} D}{\frac{F_K}{l} + (s - C_K)} < \sigma_x^t \quad (15.30)$$

определяется по двум формулам: (15.23) и

$$p_{нд} = 0,85 E^t \frac{l (s - C_K)^3 + 12 J_x}{l D^3} \geq p_{нв} \quad (15.31)$$

За расчетную принимается меньшая величина.

Для обечайки из тех же материалов, у которых имеет место условие (15.30), но $\frac{l}{D} \leq 0,5$, а общая длина L

обечайки всего аппарата не превышает $8D$, допускаемое наружное давление $p_{нд}$ определяется по формуле (ОН 26-01-13-65) (Н 1039-65)

$$p_{нд} = \frac{\pi^2 E^t}{D L^2} \left[K \frac{J_x}{l} + \frac{(s - C_K)^3}{10,9} \right] \geq p_{нв} \quad (15.32)$$

где $K = f \left[\frac{2L^2}{D} \sqrt{\frac{l (s - C_K)}{12 J_x}} \right]$ — параметр, характеризующий величину критического давления. Определяется по графику (рис. 15.7), построенному по данным табл. 11 ОН 26-01-13-65 (Н 1039-65)

Эффективный момент инерции суммарного поперечного сечения (кольца жесткости и части обечайки) J_x для таких обечайки должен также отвечать условию (15.29), но при нахождении l_0 для l в м (см) определяется по формуле (ОН 26-01-13-65) (Н 1039-65)

$$l_0 = l - \frac{J}{0,0278 l (s - C_K)^3 + J} \times [l - b - 1,1 \sqrt{D (s - C_K)}] \quad (15.33)$$

Кроме указанного, такие обечайки необходимо проверить на местную устойчивость по формуле (15.23).

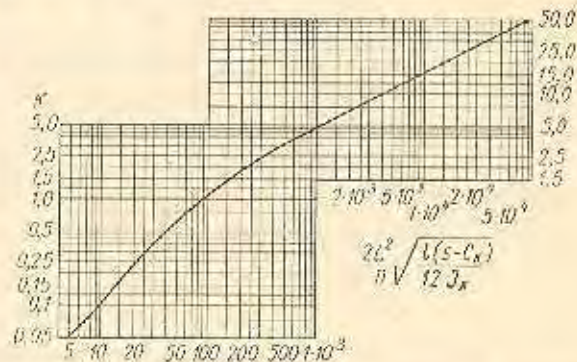


Рис. 15.7. График для определения параметра K в формуле (15.32)

Если при проверочных расчетах, хотя бы одно из условий (15.22), (15.23), (15.30) — (15.32) не будет выполнено, то толщина стенки обечайки, расстояние между кольцами или сечение последних должно быть соответственно изменено.

Расчет на наружное давление обечайки из неметаллических и хрупких металлических материалов с некоторым приближением рекомендуется производить по приведенным выше формулам со следующими изменениями:

вместо σ_x^t подставляется $0,5 \sigma_x^t$;

при определении s' по формуле (15.18) и $p_{нд}$ по формулам (15.22), (15.23), (15.31) и (15.32) вводится поправка

в виде множителя $\frac{n_d}{2,6}$. Причем этот множитель в формуле (15.18) вводится в выражение в скобках. Значения $n_d = n_d$ для разных материалов рассчитываемой обечайки см. в гл. 14.

Расчет обечайк, работающих под действием осевой сжимающей силы

Толщину стенки таких обечайк следует определять из условий прочности и устойчивости.

Номинальная расчетная толщина стенки обечайки s' в м (см) при $l \leq 5D$ из условия прочности определяется по формуле

$$s' = \frac{P}{\pi D \sigma_{сд}}, \quad (15.34)$$

где P — расчетная осевая сжимающая сила в Мн (кгс);
 D — то же, что и в (15.18);
 $\sigma_{сд}$ — допускаемое напряжение на сжатие для материала обечайки в Мн/м² (кгс/см²).

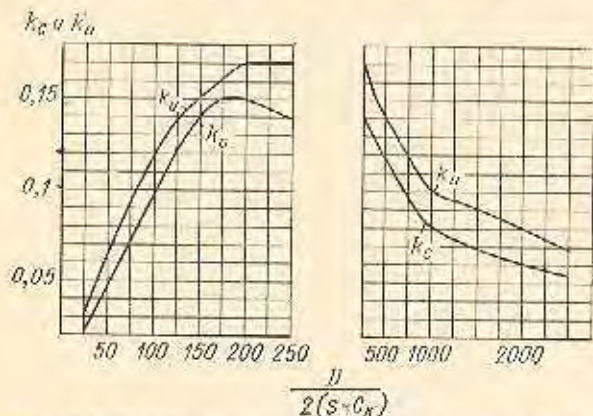


Рис. 15.8. График для определения коэффициентов k_c и k_u в формулах (15.36) и (15.47)

Толщина стенки обечайки с учетом прибавок определяется по формуле (15.10).

Допускаемое напряжение на сжатие в обечайке $\sigma_{сд}$ определяется по формуле $\left(\frac{OH 26-01-13-65}{H 1039-65}\right)$

$$\sigma_{сд} = K_c E^t \frac{s - C_k}{D}, \quad (15.35)$$

Устойчивость обечайки обеспечивается при условии $\left(\frac{OH 26-01-13-65}{H 1039-65}\right)$

$$\frac{P}{\pi D (s - C_k)} \leq K_c E^t \frac{s - C_k}{D},$$

или после преобразований

$$s - C_k \geq \sqrt{\frac{P}{\pi K_c E^t}}. \quad (15.36)$$

Коэффициент K_c определяется в зависимости от отношения $\frac{D}{2(s - C_k)}$:

$$\text{при } 25 \leq \frac{D}{2(s - C_k)} \leq 250 \quad (15.37)$$

$$K_c = 875 \frac{\sigma_t}{E^t} k_t \leq 0,155, \quad (15.38)$$

где $k_c = f \left[\frac{D}{2(s - C_k)} \right]$, определяется по графику (рис. 15.8), построенному по данным табл. 12 $\left(\frac{OH 26-01-13-65}{H 1039-65}\right)$;

$$\text{при } \frac{D}{2(s - C_k)} > 250 \quad (15.39)$$

$$K_c = k_c. \quad (15.40)$$

В случае несоблюдения условия (15.36) толщину стенки обечайки s следует соответственно увеличить.

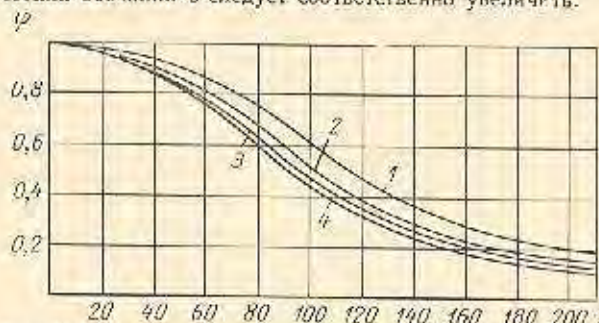


Рис. 15.9. График для определения коэффициента уменьшения допускаемых напряжений при продольном изгибе центрально сжатых элементов φ в формуле (15.41). Для стали марок: 1 — Ст. 3, 10, 20, 20К; 2 — 12ХМ, 12МХ, 15ХМ, Х5М; 3 — 16ГС, 09Г2С; 4 — Х18Н10Т, 0Х18Н10Т, Х18Н12Т, 0Х18Н12Т, Х17Н13М2Т, Х17Н13М3Т

Номинальная расчетная толщина стенки обечайки s' в м (см) при $l > 5D$ определяется из условия общей устойчивости ее по формуле

$$s' = \frac{P}{\pi D \sigma_{сд\varphi}}, \quad (15.41)$$

где φ — коэффициент уменьшения допускаемого напряжения при продольном изгибе. Для стальных обечайк определяется по графику (рис. 15.9), построенному по данным табл. 16 $\left(\frac{OH 26-01-13-65}{H 1039-65}\right)$, в зависимости от гибкости центрально сжатых тонкостенных элементов кольцевого сечения λ . Для цветных металлов и сплавов приближенно можно определять по тому же графику для кривой 4.

Гибкость центрально сжатых тонкостенных элементов кольцевого сечения определяется по формуле $\left(\frac{OH 26-01-13-65}{H 1039-65}\right)$

$$\lambda \approx 2,82 \frac{l_n}{D}, \quad (15.42)$$

где l_n — приведенная расчетная длина центрально сжатых элементов в зависимости от способа закрепления их концов. Определяется согласно табл. 15.7.

Расчет обечайк, работающих под действием изгибающего момента


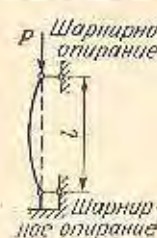
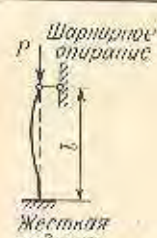

Толщину стенки таких обечайк следует определять из условий прочности и местной устойчивости в сжатой зоне.

Номинальная расчетная толщина стенки обечайки s' в м (см) из условия прочности определяется по формуле

$$s' = \frac{4M_u}{\pi D^2 \sigma_{сд}}, \quad (15.43)$$

Таблица 15.7

Приведенная расчетная длина центрально сжатых элементов l_n в зависимости от способа закрепления их концов

Расчетная схема и способы закрепления концов	Приведенная расчетная длина элемента
	$l_n = 2l$
	$l_n = l$
	$l_n = 0,7l$
	$l_n = 0,5l$

где M_n — изгибающий момент в расчетном поперечном сечении обечайки, действующий в диаметральной осевой плоскости ее в $Мн \cdot м$ ($кгс \cdot см$);

$\sigma_{нд}$ — допускаемое напряжение на изгиб для материала обечайки в $Мн/м^2$ ($кгс/см^2$);

D — то же, что и в (15.18).

Толщина стенки обечайки с учетом прибавок определяется по формуле (15.10).

Допускаемое напряжение на изгиб в обечайке определяется по формуле $\left(\frac{ОН 26-01-13-65}{Н 1039-65} \right)$

$$\sigma_{нд} = K_u E^t \frac{s - C_k}{D} \quad (15.44)$$

Устойчивость обечайки обеспечивается при условии $\left(\frac{ОН 26-01-13-65}{Н 1039-65} \right)$

$$\frac{4M_n}{\pi D^2 (s - C_k)} \leq K_u E^t \frac{s - C_k}{D},$$

или после преобразований

$$s - C_k \geq \sqrt{\frac{1,27 M_n}{K_u D E^t}} \quad (15.45)$$

Коэффициент K_u определяется в зависимости от отношения $\frac{D}{2(s - C_k)}$:

$$\text{при } 25 \leq \frac{D}{2(s - C_k)} \leq 250 \quad (15.46)$$

$$K_u = 875 \frac{\sigma_r^t}{E^t} k_n \leq 0,185, \quad (15.47)$$

где $k_n = f \left[\frac{D}{2(s - C_k)} \right]$, определяется по графику (рис. 15.8), построенному по данным табл. 12 $\left(\frac{ОН 26-01-13-65}{Н 1039-65} \right)$;

$$\text{при } \frac{D}{2(s - C_k)} > 250 \quad (15.48)$$

$$K_u = k_n \quad (15.49)$$

В случае несоблюдения условия (15.45) толщину стенки обечайки s следует соответственно увеличить.

Если в расчетном поперечном сечении обечайки наряду с изгибающим моментом действует поперечная сила, формулы (15.43)–(15.45) применяются при условии, когда наибольшие касательные напряжения τ в $Мн/м^2$ ($кгс/см^2$) в том же сечении не превышают $\left(\frac{ОН 26-01-13-65}{Н 1039-65} \right)$

$$\tau = 0,07 E^t \sqrt{\left[\frac{2(s - C_k)}{D} \right]^3} \quad (15.50)$$

Расчет обечайек, работающих под совместным действием наружного давления, осевой сжимающей силы и изгибающего момента

Расчет таких обечайек обычно сводится к проверке устойчивости их при совместном действии перечисленных нагрузок. Толщина же стенки обечайки определяется по каждому из видов нагрузки. За расчетную принимается наибольшая величина.

Условие устойчивости обечайки для любого ее сечения определяется по формуле $\left(\frac{ОН 26-01-13-65}{Н 1039-65} \right)$

$$\frac{\sigma_c}{\sigma_{cd}} + \frac{\sigma_u}{\sigma_{ud}} + \frac{p_n}{p_{нд}} \leq 1, \quad (15.51)$$

где

σ_c — напряжение сжатия в обечайке от действия осевой сжимающей силы в $Мн/м^2$ ($кгс/см^2$);

σ_u — напряжение изгиба в обечайке от действия изгибающего момента в $Мн/м^2$ ($кгс/см^2$);

σ_{cd} — то же, что и в (15.34);

σ_{ud} — то же, что и в (15.43);

p_n и $p_{нд}$ — расчетное и допускаемое наружные давления в $Мн/м^2$ ($кгс/см^2$).

Напряжения сжатия в обечайке в Мн/м^2 (кгс/см^2) определяется по формуле

$$\sigma_c = \frac{P}{\pi(D_n + s)(s - C_k)}, \quad (15.52)$$

где P — то же, что и в (15.34).

Напряжения изгиба в обечайке в Мн/м^2 (кгс/см^2) определяется по формуле

$$\sigma_u = \frac{M_u}{W} = \frac{4M_u}{\pi(D_n + s)^2(s - C_k)}, \quad (15.53)$$

где M_u — то же, что и в (15.43).

При отсутствии в обечайке какой-либо из нагрузок соответствующее слагаемое в (15.51) принимается равным нулю.

Расчет обечаек, работающих под совместным действием внутреннего давления, осевой (сжимающей или растягивающей) силы, изгибающего и крутящего моментов

Расчет таких обечаек обычно сводится к проверке эквивалентного напряжения в них при совместном действии перечисленных нагрузок. Толщина же стенки обечайки определяется по каждому из видов нагрузки. За расчетную принимается наибольшая величина.

Эквивалентное напряжение σ_s в Мн/м^2 (кгс/см^2) в обечайке определяется по формуле [119]

$$\sigma_s = \sqrt{(\sigma + 0,8\sigma_u)^2 + 3\tau^2} \leq 0,87\sigma_{\partial} \sqrt{1,2 - \left(\frac{\sigma_n}{\sigma_{\partial}}\right)^2}, \quad (15.54)$$

где σ — напряжение растяжения или сжатия в обечайке от внешней осевой силы в Мн/м^2 (кгс/см^2); определяется по (15.52);

σ_u — напряжение изгиба в обечайке от внешнего изгибающего момента в Мн/м^2 (кгс/см^2); определяется по (15.53);

τ — напряжение кручения в обечайке от внешнего крутящего момента в Мн/м^2 (кгс/см^2);

σ_n — приведенное напряжение от внутреннего давления в Мн/м^2 (кгс/см^2).

Напряжения кручения в обечайке определяется по формуле

$$\tau = \frac{8M_k}{\pi(D_n + s)^2(s - C_k)}, \quad (15.55)$$

где M_k — внешний крутящий момент в $\text{Мн} \cdot \text{м}$ ($\text{кгс} \cdot \text{см}$).

Приведенное напряжение от внутреннего давления определяется по формуле

$$\sigma_n = \frac{p[D_n + (s - C_k)]}{2\varphi(s - C_k)}, \quad (15.56)$$

Напряжения σ , σ_u и τ определяются для сечения, в котором они являются максимальными. В сомнительных случаях указанные напряжения определяются для нескольких сечений.

При отсутствии в обечайке какой-либо из нагрузок соответствующее ей напряжение в (15.54) принимается равным нулю.

Пример 15.2. Определить толщину стенки сварной цилиндрической обечайки вертикального аппарата с рубашкой, работающего под вакуумом и наружным давлением (в рубашке), по следующим данным (рис. 15.10): материал обечайки — сталь марки Х18Н10Т ($E^{160} = 1,85 \cdot 10^5 \text{ Мн/м}^2$; $\sigma_r^{150} = 210 \text{ Мн/м}^2$; $\sigma_{\partial} = 138 \text{ Мн/м}^2$ (1380 кгс/см^2); материал стойкий в среде, дающие о прощ-

аеомости отсутствуют ($C_k = 1 \text{ мм}$, $C_n = 0$); наружная среда (в рубашке) — жидкость $\rho_{ж} = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ($\gamma = 1 \cdot 10^{-3} \text{ кгс/см}^3$) неагрессивная; внутренняя среда — газ с остаточным давлением $p_n = 0,07 \text{ Мн/м}^2$ ($0,7 \text{ кгс/см}^2$); $p_{ж} = 0,8 \text{ Мн/м}^2$ (8 кгс/см^2); $t_{ст} = 150^\circ \text{С}$; $D_n = 0,8 \text{ м}$; $H = 2,4 \text{ м}$; обечайка без отверстий; продольный сварной автоматический стыковой шов двусторонний ($\Phi_{ш} = 1 - \text{см. табл. 14.7}$); поправочный коэффициент $\eta = 1$.

Расчетное наружное давление в обечайке с учетом вакуума в аппарате [дополнительное давление $p'_n = 0,1 - 0,07 = 0,03 \text{ Мн/м}^2$ ($0,3 \text{ кгс/см}^2$)]

$$p_n = p_{ж} + 0,03 = 0,8 + 0,03 = 0,83 \text{ Мн/м}^2 \text{ (} 8,3 \text{ кгс/см}^2 \text{)}.$$

Номинальную расчетную толщину стенки обечайки определяем по формуле (15.18)

$$s' = 1,18D_n \left(\frac{p_n}{E} \cdot \frac{H}{D_n} \right)^{0,4} = 1,18 \cdot 0,8 \left(\frac{0,83}{1,85 \cdot 10^5} \cdot \frac{2,4}{0,8} \right)^{0,4} = 9,95 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 9,95 \text{ мм}.$$

Определим s' с помощью номограммы (см. рис. 15.4)

$$\text{для } \frac{l'}{D_n} = 3 \text{ и } \frac{p_n D_n}{10^{-6} E^2} = \frac{0,63}{10^{-6} \cdot 1,85 \cdot 10^5} = 3,41.$$

Находим $\frac{s'}{D_n} \approx 0,0125$, откуда $s' = 0,0125 \cdot 0,8 = 10,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, т. е. получили практически тот же результат, что и по аналитическому расчету по формуле (15.18).

Определим границу области применения номограммы для расчета обечаек при заданных E^{150} и σ_r^{150} .

Выбираем (произвольно) $\frac{s'}{D_n} = 0,005$. Наименьшее значение $\frac{l'}{D_n}$ для $\sigma_r^{150} = 210 \text{ Мн/м}^2$ по номограмме будет 0,3. Умножив это значение на $\frac{E^{150}}{2,1 \cdot 10^5}$, получим $0,3 \times \frac{1,85 \cdot 10^5}{2,1 \cdot 10^5} = 0,264$. Отметим на наклонном участке сплошной линии (для $\frac{s'}{D_n} = 0,005$) точку, соответствующую значению $\frac{l'}{D_n} = 0,264$, через которую проведем

штриховую линию, параллельную штрих-пунктирным линиям. Указанная штриховая линия и будет границей области применения номограммы для расчета обечаек из материала с $E = 1,85 \cdot 10^5 \text{ Мн/м}^2$ и $\sigma_r = 210 \text{ Мн/м}^2$.

Таким образом, для рассматриваемого примера расчет обечайки находится в пределах границы применения номограммы.

Считая расчетное значение $s' = 9,95 \text{ мм}$, выбираем прибавку на округление толщины стенки (до ближайшего большего размера по сортаменту) $C_n = 1,05 \text{ мм}$.

Суммарную прибавку к номинальной расчетной толщине стенки определяем по формуле (14.12)

$$C = C_k + C_n + C_o = 1 + 0 + 1,05 = 2,05 \text{ мм}.$$

Толщину стенки обечайки с учетом прибавок определяем по формуле (15.10)

$$s = s' + C = 9,95 + 2,05 = 12 \text{ мм}.$$

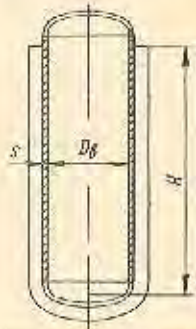


Рис. 15.10. К примеру 15.2

Проверим условие (15.19)

$$1,5 \sqrt{\frac{2(s-C_k)}{D_s}} = 1,5 \sqrt{\frac{2 \cdot 11}{800}} = 0,249 < \frac{H}{D_s} = \frac{2,4}{0,8} = 3 < \sqrt{\frac{D_s}{2(s-C_k)}} = \sqrt{\frac{800}{2 \cdot 11}} = 6,02,$$

т. е. условие соблюдено.

Проверим условие (15.20)

$$\frac{H}{D_s} = 3 \geq 0,3 \frac{E^t}{\sigma_T^t} \sqrt{\left[\frac{2(s-C_k)}{D_s}\right]^3} = 0,3 \frac{1,85 \cdot 10^9}{210} \sqrt{\left[\frac{2 \cdot 11}{800}\right]^3} = 3,82,$$

т. е. условие не соблюдено (имеет место условие (15.21) 1).

Поэтому проверим толщину стенки обечайки s на допускаемое наружное давление по формуле (15.22)

$$p_{нд} = \frac{2\sigma_{сж}(s-C_k)}{D_s \left[1 + 1,02 \frac{H^2 D_s}{(s-C_k)^2} \left(\frac{\sigma_T^t}{E^t}\right)^2\right]} = \frac{2 \cdot 138 \cdot 0,011}{0,8 \left[1 + 1,02 \frac{2,4^2 \cdot 0,8}{0,011^2} \left(\frac{210}{1,85 \cdot 10^9}\right)^2\right]} = 0,685 \text{ Мн/м}^2 \text{ (6,85 кгс/см}^2\text{)}, \text{ что } > p_n = 0,63 \text{ Мн/м}^2.$$

Определим осевую сжимающую силу, действующую на обечайку снизу вверх от давления среды в рубашке (с учетом гидростатического столба жидкости в последней).

Расчетное наружное давление в нижней части рубашки определяем по формуле (14.1)

$$p'_n = p_{nc} + g\rho_{ж} H_{ж} 10^{-6} = 0,63 + 9,8 \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 2,4 \cdot 10^{-6} = 0,654 \text{ Мн/м}^2 \text{ (6,54 кгс/см}^2\text{)}.$$

Расчетная осевая сжимающая сила

$$P = \frac{\pi(D_s + 2s)^2}{4} p'_n = \frac{(0,8 + 2 \cdot 0,012)^2}{4} 0,654 = 0,348 \text{ Мн (34 800 кгс)}.$$

Определим отношение $\frac{D_s}{2(s-C_k)} = \frac{800}{2 \cdot 11} = 36,3 < 250$.

Находим по графику (рис. 15.8) $k_c = 0,036$.

Определяем коэффициент K_c по формуле (15.38)

$$K_c = 875 \frac{\sigma_T^t}{E^t} k_c = 875 \frac{210}{1,85 \cdot 10^9} 0,036 = 0,0357.$$

Проверим устойчивость обечайки по формуле (15.36)

$$s - C_k = 0,011 \text{ м} > \sqrt{\frac{P}{\pi K_c E^t}} = \sqrt{\frac{0,348}{\pi \cdot 0,0357 \cdot 1,85 \cdot 10^9}} = 0,0041 \text{ м}.$$

т. е. условие соблюдено и обечайка устойчива.

Осевое напряжение сжатия в обечайке определяем по формуле (15.52)

$$\sigma_c = \frac{P}{\pi(D_s + s)(s - C_k)} = \frac{0,348}{\pi(0,8 + 0,012) \cdot 0,011} = 12,4 \text{ Мн/м}^2 \text{ (12,4 кгс/см}^2\text{)}.$$

Устойчивость обечайки от совместного действия наружного давления и осевой сжимающей силы проверяем по формуле (15.51)

$$\frac{\sigma_c}{\sigma_{сж}} + \frac{p_n}{p_{нд}} = \frac{12,4}{138} + \frac{0,63}{0,685} = 1,01 > 1$$

с превышением на 1%, что можно допустить.

Пример 15.3. Определить толщину стенки сварной цилиндрической обечайки, укрепленной кольцами жесткости прямоугольного поперечного сечения, и поперечное сечение последних для горизонтального аппарата, работающего под внутренним и наружным давлениями по следующим данным (рис. 15.11): материал обечайки и колец жесткости — алюминиевый сплав АМгС ($\sigma_s =$

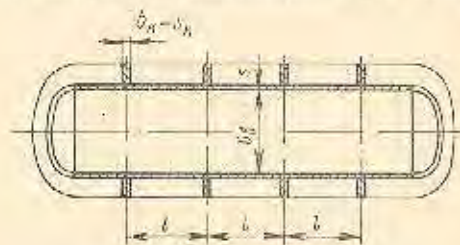


Рис. 15.11. К примеру 15.3

$= 130 \text{ Мн/м}^2$; $\sigma_{в,з} = 60 \text{ Мн/м}^2$; $E = 0,72 \cdot 10^9 \text{ Мн/м}^2$); материал стойкий во внутренней среде, данные о проицаемости отсутствуют ($C_k = 1, \text{ мм}$, $C_s = 0$), внутренняя среда — жидкость $\rho_{ж} = 1,1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ($\gamma = 1,1 \times 10^{-3} \text{ кгс/см}^3$), наружная среда (в рубашке) — жидкость $\rho_{жв} = 0,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ($\gamma_1 = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ кгс/см}^3$) не агрессивная ($C_k = 0$); $p_c = 0,3 \text{ Мн/м}^2$ (3 кгс/см²); $p_{nc} = 0,16 \text{ Мн/м}^2$ (1,6 кгс/см²); $t_{ср} = -190^\circ \text{ С}$; $D_s = 1,3 \text{ м}$; $l = 0,9 \text{ м}$; $L = 4,5 \text{ м}$; обечайка с надежно укрепленными отверстиями; продольный сварной автоматический стыковой шов двусторонний ($\varphi_{ш} = 0,85$); поправочный коэффициент $\eta = 0,95$.

Производим расчет обечайки на внутреннее давление. Расчетное внутреннее давление в нижней части обечайки с учетом гидростатического давления столба жидкости высотой $H_{ж} = D_s$ определяем по формуле (14.1)

$$p = p_c + g\rho_{жв} D_s 10^{-6} = 0,3 + 9,8 \cdot 1,1 \cdot 10^3 \cdot 1,3 \times 10^{-6} = 0,314 \text{ Мн/м}^2 \text{ (3,14 кгс/см}^2\text{)}.$$

Данных по длительной прочности для сплава АМгС не имеется, поэтому номинальное допускаемое напряжение на растяжение для этого материала определяем однозначно по предельной прочности по формуле (14.4) при запасе прочности $n_s = 3,5$ (см. табл. 14.6)

$$\sigma_s^* = \frac{\sigma_s}{n_s} = \frac{130}{3,5} = 37,2 \text{ Мн/м}^2 \text{ (37,2 кгс/см}^2\text{)}.$$

Допускаемое напряжение на растяжение определяем по формуле (14.11)

$$\sigma_d = \eta \sigma_s^* = 0,95 \cdot 37,2 = 35,4 \text{ Мн/м}^2 \text{ (35,4 кгс/см}^2\text{)}.$$

Определим отношение определяющих параметров σ_d и p с учетом коэффициента $\varphi_{ш}$

$$\frac{\sigma_d}{p} \varphi_{ш} = \frac{35,4}{0,314} 0,85 = 96 > 25.$$

Номинальную расчетную толщину стенки обечайки для данного отношения согласно табл. 15.6 определяем по формуле (15.3)

$$s' = \frac{D_o p}{2\sigma_{\text{вн}}} = \frac{1,3 \cdot 0,314}{2 \cdot 35,4 \cdot 0,85} = 6,78 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 6,78 \text{ мм.}$$

Производим расчет обечайки на наружное давление. Расчетное наружное давление в нижней части обечайки с учетом гидростатического давления столба жидкости в рубашке, полагаемая его равным $H_{\text{жл}} \approx 1,5 \text{ м}$, определяем по формуле (14.1)

$$\begin{aligned} p_n &= p_{\text{вн}} + \rho_{\text{жл}} H_{\text{жл}} 10^{-6} = \\ &= 0,16 + 9,8 \cdot 0,8 \cdot 10^3 \cdot 1,5 \cdot 10^{-6} \approx \\ &\approx 0,172 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1,72 кгс/см}^2\text{)}. \end{aligned}$$

Номинальную расчетную толщину стенки обечайки определяем по формуле (15.18)

$$\begin{aligned} s' &= 1,18 D_o \left(\frac{p_n \cdot l}{E t} \cdot \frac{l}{D_o} \right)^{0,4} = \\ &= 1,18 \cdot 1,3 \left(\frac{0,172}{0,72 \cdot 10^8} \cdot \frac{0,9}{1,3} \right)^{0,4} = 7,48 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 7,48 \text{ мм.} \end{aligned}$$

За расчетное принимаем большее значение номинальной толщины стенки исходя из расчета ее на наружное давление $s' = 7,48 \text{ мм}$.

Выбираем прибавку на округление толщины стенки (до ближайшего большего размера по сортаменту) $C_a = 1,52 \text{ мм}$.

Суммарную прибавку к номинальной расчетной толщине стенки определяем по формуле (14.12)

$$C = C_k + C_a + C_b = 1 + 0 + 1,52 = 2,52 \text{ мм.}$$

Толщину стенки обечайки с учетом прибавок определяем по формуле (15.10)

$$s = s' + C = 7,48 + 2,52 = 10 \text{ мм.}$$

Проверим справедливость расчета по формуле (15.18), Условие (15.19)

$$\begin{aligned} 1,5 \sqrt{\frac{2(s - C_k)}{D_o}} &= 1,5 \sqrt{\frac{2 \cdot 9}{1300}} = 0,1765 < \frac{l}{D_o} = \\ &= \frac{0,9}{1,3} = 0,692 < \sqrt{\frac{D_o}{2(s - C_k)}} = \sqrt{\frac{1300}{2 \cdot 9}} = 8,5, \end{aligned}$$

т. е. условие соблюдено.

Условие (15.20)

$$\begin{aligned} \frac{l}{D_o} = 0,692 &\geq 0,3 \frac{E}{\sigma_T} \sqrt{\left[\frac{2(s - C_k)}{D_o} \right]^3} = \\ &= 0,3 \frac{0,72 \cdot 10^8}{60} \sqrt{\left[\frac{2,9}{1300} \right]^3} = 0,584, \end{aligned}$$

т. е. условие также соблюдено и, следовательно, расчет толщины стенки обечайки по формуле (15.18) справедлив.

Производим расчет укрепляющих колец жесткости (рис. 15.11). Расчетный момент инерции суммарного поперечного сечения кольца и части обечайки, приходящейся на одно кольцо, относительно оси, проходящей через центр тяжести этого сечения параллельно образующей обечайки, определяем по формуле (15.25)

$$\begin{aligned} J' &= \frac{l}{12} \left[1,18 \frac{D_o^3 p_n}{E} - (s - C_k)^3 \right] = \\ &= \frac{0,9}{12} \left[1,18 \frac{1,3^3 \cdot 0,172}{0,72 \cdot 10^8} - 0,009^3 \right] = 41 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4. \end{aligned}$$

Определяем условие (15.27)

$$\begin{aligned} F_k > \frac{1,3 \rho_n D_o l}{\sigma_T} - l (s - C_k) = \\ &= \frac{1,3 \cdot 0,172 \cdot 1,3 \cdot 0,9}{60} - 0,9 \cdot 0,009 = -37 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3. \end{aligned}$$

Отрицательное значение показывает, что величина F_k в данном случае может быть выбрана произвольно относительно небольшой из конструктивных соображений.

Выбираем кольцо по типу l (рис. 15.5) с размерами $s_k = 10 \text{ мм}$, $h_k = 50 \text{ мм}$. Площадь сечения кольца

$$F_k = s_k h_k = 0,01 \cdot 0,05 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Момент инерции площади сечения кольца относительно его центральной оси

$$J_k = \frac{s_k^3 h_k^3}{12} = \frac{0,01^3 \cdot 0,05^3}{12} = 10,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4.$$

Эффективную длину обечайки определяем по формуле (15.26)

$$\begin{aligned} l_a &= s_k + 1,1 \sqrt{D_o (s - C_k)} = 0,01 + 1,1 \sqrt{1,3 \cdot 0,009} = \\ &= 0,129 \text{ м.} \end{aligned}$$

Площадь составной части обечайки

$$F_0 = l_a (s - C_k) = 0,129 \cdot 0,009 = 10,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Расстояние центра тяжести суммарного сечения от срединной поверхности обечайки при $e = 0,0295 \text{ м}$ (см. рис. 15.6) определяем по формуле (15.28)

$$e_0 = \frac{F_k e}{F_0 + F_k} = \frac{0,0005 \cdot 0,0295}{0,00107 + 0,0005} = 0,0094 \text{ м.}$$

Эффективный момент инерции суммарного поперечного сечения относительно центральной оси xx определяем по формуле (15.29)

$$\begin{aligned} J_x &= J_k + F_k (e - e_0)^2 + \\ &+ \frac{F_0 (s - C_k)^3}{10,9} \left[1 + 12 \left(\frac{e_0}{s - C_k} \right)^2 \right] = \\ &= 10,4 \cdot 10^{-6} + 0,0005 (0,0295 - 0,0094)^2 + \\ &+ \frac{0,00107 \cdot 0,009^3}{10,9} \left[1 + 12 \left(\frac{0,4}{9} \right)^2 \right] = \\ &= 41,85 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4 > J = 41 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4, \end{aligned}$$

т. е. условие устойчивости соблюдено.

Проверим допускаемое наружное давление. Допускаемое наружное давление для обечайки между кольцами жесткости, поскольку соблюдены условия (15.19) и (15.20), определяем по формуле (15.23)

$$\begin{aligned} p_{\text{нд}} &= 0,649 E \frac{D_o}{l} \left(\frac{s - C_k}{D_o} \right)^2 \sqrt{\frac{s - C_k}{D_o}} = \\ &= 0,649 \cdot 0,72 \cdot 10^8 \cdot \frac{1,3}{0,9} \left(\frac{0,009}{1,3} \right)^2 \sqrt{\frac{0,009}{1,3}} = \\ &= 0,268 \text{ Мн/м}^2 \text{ (2,68 кгс/см}^2\text{)} > p_n = \\ &= 0,172 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1,72 кгс/см}^2\text{)}. \end{aligned}$$

Допускаемое наружное давление для кольца жесткости совместно с обечайкой определяем по формуле (15.31)

$$p_{нд} = 0,85E \frac{l(s - C_k) + 12J_k}{lD_a^3} =$$

$$= 0,85 \cdot 0,72 \cdot 10^5 \cdot \frac{0,9 \cdot 0,009^3 + 12 \cdot 41 \cdot 10^{-8}}{0,9 \cdot 1,3^3} =$$

$$= 0,173 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1,73 кгс/см}^2\text{)} > p_n =$$

$$= 0,172 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1,72 кгс/см}^2\text{)}$$

Пример 15.4. Определить толщину стенки паяной цилиндрической обечайки горизонтального аппарата, лежащего на двух опорах, работающего под внутренним давлением и нагруженного поперечной сосредоточенной силой.

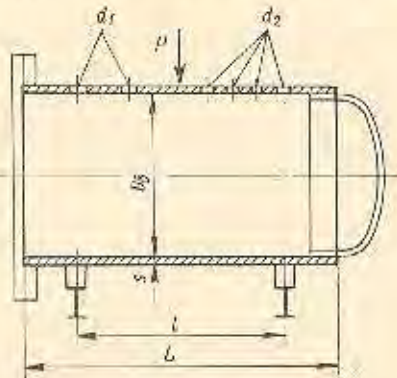


Рис. 15.12. К примеру 15.4

по следующим данным (рис. 15.12): материал обечайки — медь марки М3 ($\sigma_a = 200 \text{ Мн/м}^2$, $E = 1,15 \cdot 10^5 \text{ Мн/м}^2$, $\sigma_{0,2} = 50 \text{ Мн/м}^2$) стойкий в среде с проникаемостью $0,04 \text{ мм/год}$ ($C_k = 0$); среда — жидкость $\rho_{ж} = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ($\gamma = 1 \cdot 10^{-3} \text{ кгс/см}^3$); $p_c = 0,6 \text{ Мн/м}^2$ (6 кгс/см²); $t_c = -120^\circ \text{С}$; $D_a = 0,9 \text{ м}$; $L = 2,0 \text{ м}$; $l = 1,2 \text{ м}$; $P = 1 \cdot 10^4 \text{ Н}$ (1000 кгс); сила тяжести аппарата с жидкостью $G \approx 2 \cdot 10^3 \text{ Н}$ (2000 кгс); обечайка с неукрепленными отверстиями для труб: 2 отв. $d_1 = 0,05 \text{ м}$ и 1 отв. $d_2 = 0,025 \text{ м}$; продольный паяный шов в/зубен на твердом припое ($\varphi_0 = 1$); поправочный коэффициент $\eta = 1$.

Расчетное внутреннее давление в обечайке $p = p_c = 0,6 \text{ Мн/м}^2$ (6 кгс/см²).

Данных по длительной прочности для меди М3 не имеется, поэтому номинальное допускаемое напряжение на растяжение для этого материала определяем однозначно по пределу прочности по формуле (14.4) при запасе прочности $n_n = 3,5$ (см. табл. 14.6)

$$\sigma_a^* = \frac{\sigma_a}{n_n} = \frac{200}{3,5} = 57 \text{ Мн/м}^2 \text{ (570 кгс/см}^2\text{)}$$

Допускаемое напряжение на растяжение определяем по формуле (14.11)

$$\sigma_d = \eta \sigma_a^* = 1 \cdot 57 = 57 \text{ Мн/м}^2 \text{ (570 кгс/см}^2\text{)}$$

Коэффициент прочности обечайки в продольном направлении в месте ослабления ее отверстиями определяем по формуле (15.14)

$$\varphi_0 = \frac{L - \sum d}{L} = \frac{2,0 - 2 \cdot 0,05 - 4 \cdot 0,025}{2,0} = 0,9.$$

Определим отношение определяющих параметров σ_d и p с учетом коэффициента φ_0

$$\sigma_d^0 = \frac{57}{0,6} \cdot 0,9 = 85,5 > 25.$$

Номинальную расчетную толщину стенки обечайки для данного отношения, согласно табл. 15.6, определяем по формуле (15.3)

$$s' = \frac{D_a p}{2\sigma_d \varphi_0} = \frac{0,9 \cdot 0,6}{2 \cdot 57 \cdot 0,9} = 5,27 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 5,27 \text{ мм}.$$

Выбираем прибавку на округление толщины стенки (до ближайшего большего размера по сортаменту) $C_n = 0,73 \text{ мм}$.

Суммарную прибавку к номинальной расчетной толщине стенки определяем по формуле (14.12)

$$C = C_k + C_n = 0 + 0,73 = 0,73 \text{ мм}.$$

Толщину стенки обечайки с учетом прибавок определяем по формуле (15.10)

$$s = s' + C = 5,27 + 0,73 = 6 \text{ мм}.$$

Проверим напряжение в стенке обечайки от действия внешних изгибающих нагрузок (силы тяжести G и нагрузки P).

Максимальный изгибающий момент для опасного сечения обечайки (посередине между опорами), считая приближенно нагрузку G равномерно распределенной по длине обечайки,

$$M_u = \frac{G}{8} (2l - L) + \frac{Pl}{4} = \frac{2 \cdot 10^3}{8} (2 \cdot 1,2 - 2,0) +$$

$$+ \frac{1 \cdot 10^4 \cdot 1,2}{4} = 0,4 \cdot 10^4 \text{ Мн} \cdot \text{м} \text{ (40 000 кгс} \cdot \text{см)}$$

Момент сопротивления опасного сечения обечайки

$$W \approx \frac{\pi D_a^3 (s - C_n)}{4} = \frac{\pi \cdot 0,9^3 \cdot 0,006}{4} = 3820 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Напряжение изгиба в обечайке определяем по формуле (15.53)

$$\sigma_u = \frac{4M_u}{\pi D_a^3 (s - C_k)} =$$

$$= \frac{4 \cdot 0,4 \cdot 10^4}{\pi \cdot 0,9^3 \cdot 0,006} = 1,05 \text{ Мн/м}^2 \text{ (10,5 кгс/см}^2\text{)}$$

Приведенное напряжение в обечайке от внутреннего давления определяем по формуле (15.56)

$$\sigma_n = \frac{p [D_a + (s - C_k)]}{2 \varphi_0 (s - C_k)} =$$

$$= \frac{0,6 (0,9 + 0,006)}{2 \cdot 0,9 \cdot 0,006} = 50,3 \text{ Мн/м}^2 \text{ (503 кгс/см}^2\text{)}$$

Эквивалентное напряжение в обечайке от внешних нагрузок при отсутствии осевой и крутящей нагрузок ($\sigma = 0$ и $\tau = 0$) определяем по формуле (15.54)

$$\sigma_3 = 0,8\sigma_u = 0,8 \cdot 1,05 = 0,84 \text{ Мн/м}^2 \text{ (8,4 кгс/см}^2\text{)}, \text{ что}$$

$$< 0,87\sigma_d \sqrt{1,2 - \left(\frac{\sigma_n}{\sigma_d}\right)^2} =$$

$$= 0,87 \cdot 57 \sqrt{1,2 - \left(\frac{50,3}{57}\right)^2} = 35,1 \text{ Мн/м}^2 \text{ (351 кгс/см}^2\text{)}$$

Таким образом прочность обечайки обеспечена.

Проверим устойчивость обечайки от действия внешних нагрузок.

Определим отношение

$$\frac{D_0}{2(s - C_k)} = \frac{900}{2 \cdot 6} = 75 < 250.$$

Находим по графику (рис. 15.8) $k_M = 0,092$.

Определим коэффициент K_M по формуле (15.47)

$$K_M = 875 \frac{\sigma_y}{E} k_M = 875 \frac{50}{1,15 \cdot 10^6} \cdot 0,092 = 0,035.$$

Устойчивость обечайки определяем по формуле (15.46)

$$s - C_k = 0,006 \text{ м} > \sqrt{\frac{1,27 M_H}{K D_0 E}} = \\ = \sqrt{\frac{1,27 \cdot 0,4 \cdot 10^{-2}}{0,035 \cdot 0,9 \cdot 1,15 \cdot 10^6}} = 0,00118 \text{ м},$$

т. е. условие соблюдено и, следовательно, обечайка устойчива.

Проверим справедливость проведенного расчета.

Касательное напряжение в оловном сечении (посередине между опорами) обечайки от действия поперечной нагрузки P (перерезывающая сила равна $0,5P$)

$$\tau = \frac{0,5P}{\pi [D_0 - (s - C_k)] (s - C_k)} = \\ = \frac{0,5 \cdot 1 \cdot 10^{-2}}{\pi [0,9 - 0,006] 0,006} = 0,298 \text{ Мн/м}^2 \text{ (} 2,98 \text{ кас/см}^2 \text{)},$$

$$\text{что меньше } 0,07E^t \sqrt{\left[\frac{2(s - C_k)}{D_0} \right]^3} = \\ = 0,07 \cdot 1,15 \cdot 10^6 \sqrt{\left[\frac{2 \cdot 0,006}{0,9} \right]^3} = \\ = 12,4 \text{ Мн/м}^2 \text{ (} 124 \text{ кас/см}^2 \text{)},$$

т. е. условие (15.50) выполнено и, следовательно, расчет справедлив.

Обечайки (корпуса) кованые

Кованые цилиндрические обечайки (корпуса) применяются, как правило, толстостенными ($\frac{D_H}{D_0} \geq 1,1$) в основном для избыточных давлений среды в аппарате не менее 10 Мн/м^2 . Материалом для таких обечайек (корпусов) служит преимущественно легированная сталь различных марок. В отдельных случаях применяются кованые обечайки (корпуса) из цветных металлов и их сплавов (латуни и др.).

Кованые обечайки (корпуса) могут быть цельными и составными из отдельных колец, соединяемых между собой чаще всего электрошлаковой сваркой.

На рис. 15.13 показаны основные типовые конструкции стальных цельнокованых и составных (ковано-сварных или штампо-сварных) обечайек (корпусов) химических аппаратов. Левая сторона каждого типа представляет собой цельный вариант, а правая — составной.

Кованые обечайки (корпуса) большей частью применяются для аппаратов вертикального исполнения (колонны, емкости и т. п.).

Отверстий в кованых цилиндрических обечайках (корпусах) рекомендуется избегать. Допускаются отдельные отверстия в обечайке только в случае крайней технологической необходимости. При этом диаметр отверстия должен быть не более 0,75 толщины стенки обечайки [163]. Конструкцию и расчет укрепления отверстий см. в гл. 18.

Внутренние поверхности цельных и составных кованых обечайек (корпусов) обычно обрабатывают с точностью $\nabla 5 - \nabla 6$, а наружные $\nabla 3 - \nabla 4$.

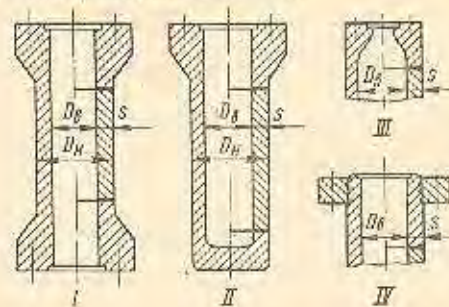


Рис. 15.13. Основные типовые конструкции стальных цельнокованых и составных (ковано-сварных или штампо-сварных) обечайек (корпусов) химических аппаратов:

I — обечайка, ограниченная с обеих сторон утолщениями для размещения шпилек; *II* — обечайка, ограниченная с одной стороны утолщением для размещения шпилек, с другой — диаметром; *III* — обечайка, ограниченная сужением внутреннего диаметра для размещения шпилек; *IV* — обечайка, ограниченная резьбой для соединения с фланцем

Размеры цельных и составных кованых обечайек (корпусов) рекомендуется выполнять по следующим классам точности: $D_0 A_7$, $D_H B_7$, $L (H) B_9$.

Расчет обечайек, работающих под внутренним давлением

Расчет кованых обечайек на внутреннее давление может производиться по базовым D_0 и D_H . Последнее имеет место при расчете обечайек, выполняемых из толстостенных труб (зависимых, как известно, по наружному диаметру), а также в тех случаях, когда по каким-либо соображениям кованая обечайка ограничивается наружным диаметром, а внутренний диаметр может быть выбран произвольно.

Номинальную расчетную толщину стенки обечайки s' рекомендуется определять по формулам согласно табл. 15.8 аналогично вальцованным обечайкам в зависимости от величины отношения заранее известных определяющих параметров σ_0 и p , с учетом коэффициента прочности продольного сварного шва $\varphi_{ш}$ (при наличии такового в обечайке), и от того, какой задан диаметр (D_0 или D_H).

Таблица 15.8

Формулы для определения номинальной расчетной толщины стенки s' цилиндрических металлических кованых, ковано-сварных и штампо-сварных обечайек, работающих под внутренним давлением

$\frac{\sigma_0}{p} \varphi_{ш}$	При базовом D_0 в м (см)	При базовом D_H в м (см)
$\geq 5,5$	По формуле (15.1), см. табл. 15.6	По формуле (15.2), см. табл. 15.6
$< 5,5$ до 0,91	$s' = (0,5D_0 + C_k) \times$ $\times (\beta - 1)$ (15.57)	$s' = 0,5D_H \frac{\beta - 1}{\beta}$ (15.58)
Данные по определению p и σ_0 см. в гл. 14; β — по графику рис. 15.14.		

Формула (15.58) получена путем преобразования соответствующих формул п. 1, табл. 3 [163].

Коэффициент толстостенности $\beta = \frac{D_N}{D_0 + 2C_K}$ находится по графику (рис. 15.14), построенному по данным табл. 1 приложения 2 [163], в зависимости от $\frac{1}{\ln \beta} = \frac{\sigma_0}{\rho} \psi_{ш}$. При отсутствии сварного продольного шва в обечайке $\psi_{ш} = 1$.

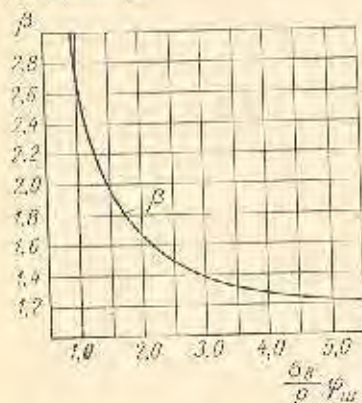


Рис. 15.14. График для определения коэффициента толстостенности обечайки β в формулах (15.57) и (15.58)

Толщина стенки обечайки s с учетом прибавок определяется по формуле (15.10), а суммарная величина прибавок — по (14.12). Данные по выбору прибавки на коррозию C_K см. в гл. 14.

Дополнительная прибавка C_D в мм для кованых обечайек на допускаемую погрешность по толщине стенки при изготовлении определяется по формуле

$$C_D = 0,5 (\Delta_0 + \Delta_K + \Delta_P), \quad (15.59)$$

где Δ_0 — положительное допускаемое отклонение на внутренний диаметр обечайки D_0 в мм;

Δ_K — отрицательное допускаемое отклонение на наружный диаметр обечайки D_N в мм;

Δ_P — допуск на разностенность в мм.

Величины Δ_0 и Δ_K принимаются по 7-му кл. точности для обечайек с механической обработкой, для обечайек без механической обработки — по специальным техническим условиям.

Величина Δ_P принимается: для обечайек с механической обработкой — при $s \leq 0,1$ м — $\Delta_P = 3$ мм; при $s > 0,1$ м — $\Delta_P = 4$ мм; для обечайек без механической обработки — по специальным техническим условиям.

Величину прибавки C_D на округление размера рекомендуется принимать исходя из округления расчетных диаметров обечайки (D_N или D_0) до размеров, оканчивающихся на 5 или 0 в мм:

при расчете по формуле (15.57) D_N — в большую сторону против расчетного;

при расчете по формуле (15.58) D_0 — в меньшую сторону против расчетного.

Формулы (15.57) и (15.58) для водородсодержащих сред при $\beta \geq 1,6$ справедливы при условии [163]

$$\sigma_{\tau}^* \geq \frac{2,34 \rho \beta^{2,5}}{\beta - 1}. \quad (15.60)$$

* Для сталей аустенитного класса σ_{τ}^* следует брать с коэффициентом 0,9.

** Получена путем преобразования формулы п. 13 табл. 3

$$[163] - \frac{\sqrt{3} \rho \beta^2}{\beta - 1} < \frac{\sigma_{\tau}^*}{1,35}.$$

При проверочных расчетах допускаемое давление p_d в Мн/м^2 (кгс/см^2) в обечайке определяется по формуле [163]

$$p_d = \sigma_{\tau}^* \ln \frac{D_N}{D_0 + 2C_K}. \quad (15.61)$$

Пример 15.5. Определить толщину стенки цельнokokованной цилиндрической обечайки аппарата, работающего под внутренним давлением с обогревом открытым электроподогревателем, по следующим данным (рис. 15.15): материал обечайки — специальная легированная сталь ($\sigma_0^{400} = 600 \text{ Мн/м}^2$; $\sigma_{\tau}^{400} = 350 \text{ Мн/м}^2$), проницаемость материала обечайки в среде $0,02 \text{ мм/год}$ ($C_K = 0$); среда инертная — газ; $p_c = 60 \text{ Мн/м}^2$ (600 кгс/см^2), $t_c = 350^\circ \text{C}$; $D_0 = 0,6$ м; поправочный коэффициент $\eta = 0,95$; обечайка с внутренней и наружной сторон имеет механическую обработку.

Расчетная температура стенки обечайки (см. гл. 14)

$$t_{ст} = t_c + 50 = 350 + 50 = 400^\circ \text{C}.$$

Расчетное давление $p = p_c = 60 \text{ Мн/м}^2$ (600 кгс/см^2). Номинальное допускаемое напряжение на растяжение по пределу прочности определяем по формуле (14.4)

$$\sigma_d^* = \frac{\sigma_0^{400}}{n_0} = \frac{600}{2,6} = 231 \text{ Мн/м}^2 \quad (2310 \text{ кгс/см}^2).$$

Номинальное допускаемое напряжение по пределу текучести определяем по формуле (15.5)

$$\sigma_d^* = \frac{\sigma_{\tau}^{400}}{n_{\tau}} = \frac{350}{1,5} =$$

$$= 233 \text{ Мн/м}^2 \quad (2330 \text{ кгс/см}^2).$$

Расчетное допускаемое напряжение с учетом поправочного коэффициента η принимаем по пределу прочности, меньшему чем по пределу текучести, по формуле (14.1)

$$\sigma_d = \eta \sigma_d^* = 0,95 \cdot 231 =$$

$$= 219 \text{ Мн/м}^2 \quad (2190 \text{ кгс/см}^2).$$

Определим отношение определяющих параметров σ_d и p при $\psi_{ш} = 1$ (продольный сварной шов отсутствует)

$$\frac{\sigma_d}{p} \psi_{ш} = \frac{219}{60} \cdot 1 = 3,65 < 5,5.$$

Номинальную расчетную толщину стенки обечайки для данного отношения согласно табл. 15.8 определяем по формуле (15.57), предварительно найдя значение коэффициента $\beta = 1,3$ по графику рис. 15.14,

$$s' = 0,5 (D_0 + C_K) (\beta - 1) =$$

$$= 0,5 (0,6 + 0) (1,3 - 1) = 90 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 90 \text{ мм}.$$

Допускаемые отклонения по 7-му кл. точности для размеров D_0 и D_N составляют: $\Delta_0 = \Delta_K = 2$ мм.

Допуск на разностенность, исходя из величин $s < 0,1$ м, принимаем $\Delta_P = 3$ мм.

Дополнительную прибавку на допускаемую погрешность при изготовлении определяем по формуле (15.59)

$$C_D = 0,5 (\Delta_0 + \Delta_K + \Delta_P) =$$

$$= 0,5 (2 + 2 + 3) = 3,5 \text{ мм}.$$

Прибавку на округление размера принимаем $C_D = 1,5$ мм.

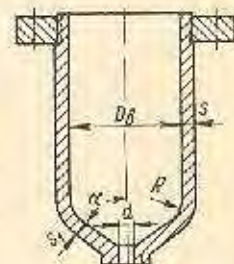


Рис. 15.15. К примеру 15.5

Формула (15.58) получена путем преобразования соответствующих формул п. 1, табл. 3 [163].

Коэффициент толстостенности $\beta = \frac{D_n}{D_o + 2C_k}$ находится по графику (рис. 15.14), построенному по данным табл. 1 приложения 2 [163], в зависимости от $\frac{1}{\ln \beta} = \frac{\sigma_{\partial}}{p} \varphi_{ш}$. При отсутствии сварного продольного шва в обечайке $\varphi_{ш} = 1$.

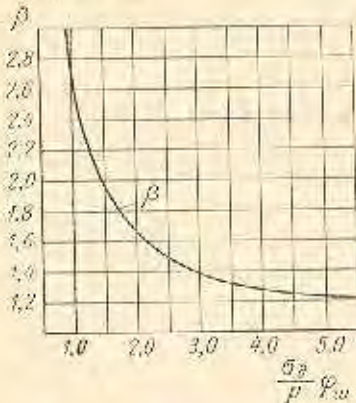


Рис. 15.14. График для определения коэффициента толстостенности обечайки β в формулах (15.57) и (15.58)

Толщина стенки обечайки s с учетом прибавок определяется по формуле (15.10), а суммарная величина прибавок — по (14.12). Данные по выбору прибавки на коррозию C_k см. в гл. 14.

Дополнительная прибавка C_{∂} в мм для кованых обечаек на допускаемую погрешность по толщине стенки при изготовлении определяется по формуле

$$C_{\partial} = 0,5 (\Delta_o + \Delta_n + \Delta_p), \quad (15.59)$$

где Δ_o — положительное допускаемое отклонение на внутренний диаметр обечайки D_n в мм;
 Δ_n — отрицательное допускаемое отклонение на наружный диаметр обечайки D_o в мм;
 Δ_p — допуск на разностенность в мм.
 Величины Δ_o и Δ_n принимаются по 7-му кл. точности для обечаек с механической обработкой, для обечаек без механической обработки — по специальным техническим условиям.

Величина Δ_p принимается: для обечаек с механической обработкой — при $s \leq 0,1$ м — $\Delta_p = 3$ мм; при $s > 0,1$ м — $\Delta_p = 4$ мм; для обечаек без механической обработки — по специальным техническим условиям.

Величину прибавки C_o на округление размера рекомендуется принимать исходя из округления расчетных диаметров обечайки (D_n или D_o) до размеров, оканчивающихся на 5 или 0 в мм:

при расчете по формуле (15.57) D_n — в большую сторону против расчетного;

при расчете по формуле (15.58) D_o — в меньшую сторону против расчетного.

Формулы (15.57) и (15.58) для водородсодержащих сред при $\beta \geq 1,6$ справедливы при условии [163]

$$\sigma_r^t \geq \frac{2,34 \rho \beta^{3,33}}{\beta - 1}. \quad (15.60)$$

* Для сталей высшего класса σ_{∂} следует брать с коэффициентом 0,9.

** Получена путем преобразования формулы п. 13 табл. 3

$$11631 - \frac{\sqrt{3} \rho \beta^2}{\beta - 1} < \frac{\sigma_r^t}{1,35}$$

При проверочных расчетах допускаемое давление p_{∂} в $Мн/м^2$ ($кгс/см^2$) в обечайке определяется по формуле [163]

$$p_{\partial} = \sigma_{\partial} \ln \frac{D_n}{D_o + 2C_k}. \quad (15.61)$$

Пример 15.5. Определить толщину стенки пельмокованной цилиндрической обечайки аппарата, работающего под внутренним давлением с обогревом открытым электронагревателем, по следующим данным (рис. 15.15): материал обечайки — специальная легированная сталь ($\sigma_n^{400} = 600$ $Мн/м^2$; $\sigma_r^{400} = 350$ $Мн/м^2$), проницаемость материала обечайки в среде 0,02 $мм/год$ ($C_k = 0$); среда инертная — газ; $p_o = 60$ $Мн/м^2$ (600 $кгс/см^2$), $t_o = 350^{\circ}C$; $D_o = 0,6$ м; поправочный коэффициент $\eta = 0,95$; обечайка с внутренней и наружной сторон имеет механическую обработку.

Расчетная температура стенки обечайки (см. гл. 14)

$$t_{ст} = t_o + 50 = 350 + 50 = 400^{\circ}C.$$

Расчетное давление $p = p_o = 60$ $Мн/м^2$ (600 $кгс/см^2$). Номинальное допускаемое напряжение на растяжение по пределу прочности определяем по формуле (14.4)

$$\sigma_{\partial}^* = \frac{\sigma_n^{400}}{n_o} = \frac{600}{2,6} = 231 \text{ } Мн/м^2 \text{ (2310 } кгс/см^2).$$

Номинальное допускаемое напряжение по пределу текучести определяем по формуле (15.5)

$$\begin{aligned} \sigma_{\partial}^* &= \frac{\sigma_r^{400}}{n_r} = \frac{350}{1,5} = \\ &= 233 \text{ } Мн/м^2 \text{ (2330 } кгс/см^2). \end{aligned}$$

Расчетное допускаемое напряжение с учетом поправочного коэффициента η принимаем по пределу прочности, меньшему чем по пределу текучести, по формуле (14.11)

$$\begin{aligned} \sigma_{\partial} &= \eta \sigma_{\partial}^* = 0,95 \cdot 231 = \\ &= 219 \text{ } Мн/м^2 \text{ (2190 } кгс/см^2). \end{aligned}$$

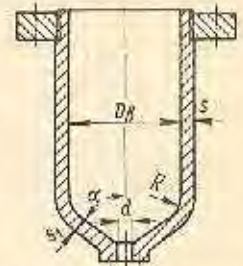


Рис. 15.15. К примеру 15.5

Определим отношение определяющих параметров σ_{∂} и p при $\varphi_{ш} = 1$ (продольный сварной шов отсутствует)

$$\frac{\sigma_{\partial}}{p} \varphi_{ш} = \frac{219}{60} \cdot 1 = 3,65 < 5,5.$$

Номинальную расчетную толщину стенки обечайки для данного отношения согласно табл. 15.8 определяем по формуле (15.57), предварительно найдя значение коэффициента $\beta = 1,3$ по графику рис. 15.14.

$$\begin{aligned} s' &= 0,5 (D_o + C_k) (\beta - 1) = \\ &= 0,5 (0,6 + 0) (1,3 - 1) = 90 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 90 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Допускаемые отклонения по 7-му кл. точности для размеров D_o и D_n составляют: $\Delta_o = \Delta_n = 2$ мм.

Допуск на разностенность, исходя из величины $s < 0,1$ м, принимаем $\Delta_p = 3$ мм.

Дополнительную прибавку на допускаемую погрешность при изготовлении определяем по формуле (15.59)

$$\begin{aligned} C_{\partial} &= 0,5 (\Delta_o + \Delta_n + \Delta_p) = \\ &= 0,5 (2 + 2 + 3) = 3,5 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Прибавку на округление размера принимаем $C_o = 1,5$ мм.

Суммарную прибавку обечайки определяем по формуле (14.12)

$$C = C_k + C_a + C_d + C_o = \\ = 0 + 0 + 3,5 + 1,5 = 5 \text{ мм.}$$

Толщину стенки обечайки с учетом прибавок определяем по формуле (15.10)

$$s = s' + C = 90 + 5 = 95 \text{ мм.}$$

Определим наружный диаметр обечайки

$$D_n = D_o + 2s = 600 + 2 \cdot 95 = 790 \text{ мм.}$$

Расчет обечайки, работающих под наружным давлением

Расчет кованых обечайки на паружное давление, так же как и на внутреннее давление, может производиться по базовым D_n и D_o .

Номинальная расчетная толщина стенки s' в мм (см) определяется по формулам [21]:

при базовом D_n

$$s' = 0,5D_n \left(\sqrt{\frac{\sigma_{\text{ср}} \varphi_{\text{ш}}}{\sigma_{\text{ср}} \varphi_{\text{ш}} - 1,73\rho_n}} - 1 \right); \quad (15.62)$$

при базовом D_o

$$s' = 0,5D_o \left(1 - \sqrt{\frac{\sigma_{\text{ср}} \varphi_{\text{ш}} - 1,73\rho_n}{\sigma_{\text{ср}} \varphi_{\text{ш}}}} \right). \quad (15.63)$$

Толщина стенки s с учетом прибавок определяется аналогично расчету кованых обечайки на внутреннее давление.

Принятая толщина стенки обечайки s подлежит проверке на устойчивость по формулам (15.22) или (15.23) в зависимости от соблюдения условий (15.19), (15.20) и (15.21).

Следует отметить, что наличие паружного давления в кованых аппаратах большей частью может быть за счет греющих или охлаждающих рубашек, давление в которых, как правило, бывает значительно меньше, чем внутреннее давление и, следовательно, не может определять толщину стенки.

Поэтому при наличии паружного давления в таких аппаратах обычно необходимо проверить суммарные напряжения в цилиндрической стенке обечайки от паружного давления (без учета внутреннего давления) и температурного перепада.

Учет температурных напряжений

Для толстостенных обечайки (при $\frac{D_n}{D_o} \geq 1,1$), у которых имеется температурный перепад по толщине стенки более 10°C и при условии, что средняя расчетная температура стенки обечайки $t_{\text{ср}}$ исключает условия ползучести материала, необходимо определить дополнительные температурные напряжения σ_t^i (на внутренней поверхности стенки) и σ_t^e (на наружной поверхности стенки) в Мн/м^2 (кгс/см^2) по формулам [21]:

$$\sigma_t^i = \frac{\alpha^i E^i (t_{\text{ср}}^e - t_{\text{ср}}^i)}{2(1-\mu)} \left(\frac{1}{\ln \beta} - \frac{2\beta^2}{\beta^2 - 1} \right); \quad (15.64)$$

$$\sigma_t^e = \frac{\alpha^e E^e (t_{\text{ср}}^e - t_{\text{ср}}^i)}{2(1-\mu)} \left(\frac{1}{\ln \beta} - \frac{2}{\beta^2 - 1} \right), \quad (15.65)$$

где $\beta = \frac{D_n}{D_o + 2C_n}$ — коэффициент толстостенности обечайки.

Положительные значения σ_t^i и σ_t^e являются растягивающими напряжениями, а отрицательные — сжимающими. Первые всегда будут со стороны поверхности, имеющей более низкую температуру, а вторые — со стороны поверхности, имеющей более высокую температуру.

Следует отметить, что формулы (15.64) и (15.65) справедливы для расчета относительно длинных обечайки со свободными концами. В действительности обечайки (корпуса) аппаратов, как известно, ограничиваются днищами, фланцами и крышками, наличие которых в какой-то степени отразится на величине температурных напряжений, определенных по указанным формулам. Однако учесть влияние этих деталей на изменение температурных напряжений расчетом не представляется возможным исследователям: конструктивных, геометрических и др. Поэтому формулы (15.64) и (15.65) для расчета реальных обечайки являются приближенными.

Температурные напряжения не учитываются (ОН 26-01-13-65) если средняя расчетная температура $t_{\text{ср}}$ составляет: для углеродистой стали $t_{\text{ср}} \geq 420^\circ \text{C}$, для легированной стали $t_{\text{ср}} \geq 470^\circ \text{C}$, для аустенитной стали $t_{\text{ср}} \geq 550^\circ \text{C}$.

В тех случаях, когда необходимо учитывать температурные напряжения, принятая толщина цилиндрической стенки обечайки s должна быть проверена на суммарное напряжение в ней от внутреннего или паружного давления и температурного перепада.

Для обечайки, работающих под внутренним давлением, максимальное напряжение растяжения будет на внутренней поверхности стенки, если она имеет более низкую температуру. В противном случае, суммарные напряжения на обеих поверхностях стенки будут меньше, чем соответствующие напряжения от одного давления.

Суммарное напряжение растяжения на внутренней поверхности стенки σ^i в Мн/м^2 (кгс/см^2) определяется по следующей формуле и не должно превышать

$$\sigma^i = \frac{1,73\rho_n^2}{(\beta^2 - 1)\varphi_{\text{ш}}} + \sigma_t^i \leq \frac{\sigma_r^i}{1,1}. \quad (15.66)$$

Суммарное напряжение растяжения на наружной поверхности стенки σ^e в Мн/м^2 (кгс/см^2) определяется по следующей формуле и не должно превышать

$$\sigma^e = \frac{1,73\rho_n^2}{(\beta^2 - 1)\varphi_{\text{ш}}} + \sigma_t^e \leq \frac{\sigma_r^e}{1,1}. \quad (15.67)$$

Для обечайки, работающих под паружным давлением, максимальное напряжение сжатия будет на наружной поверхности стенки, если она имеет более высокую температуру. В противном случае, суммарные напряжения на обеих поверхностях стенки будут меньше, чем соответствующие напряжения от одного давления.

Суммарное напряжение сжатия на паружной поверхности стенки σ_c^e в Мн/м^2 (кгс/см^2) определяется по следующей формуле и не должно превышать

$$\sigma_c^e = \frac{\rho_n(\beta^2 + 1)}{(\beta^2 - 1)\varphi_{\text{ш}}} - \sigma_t^e \leq \frac{\sigma_r^e}{1,1}. \quad (15.68)$$

Суммарное напряжение сжатия на внутренней поверхности стенки σ_c^i в Мн/м^2 (кгс/см^2) определяется по следующей формуле и не должно превышать

$$\sigma_c^i = \frac{2\rho_n\beta^2}{(\beta^2 - 1)\varphi_{\text{ш}}} - \sigma_t^i \leq \frac{\sigma_r^i}{1,1}. \quad (15.69)$$

Значения σ_t^* в формулах (15.66)–(15.69) следует принимать для средней расчетной температуры t_{cm} , определяемой согласно данным, помещенным в гл. 14.

Кроме условий, указанных в формулах (15.66)–(15.69), в любом случае должно быть соблюдено условие [184]

$$0,5(\sigma^{\theta} + \sigma^{\alpha}) \leq \sigma_{\theta} \quad (15.70)$$

Если не будет соблюдено хотя бы одно из условий (15.66), (15.67) и (15.70) — для обечаек, работающих под внутренним давлением, и (15.68), (15.69) и (15.70) — для обечаек, работающих под наружным давлением, то толщина стенки s должна быть соответственно увеличена с учетом при этом возможного изменения расчетных температур внутренней и наружной поверхностей стенки по данным дополнительного проверочного теплотехнического расчета.

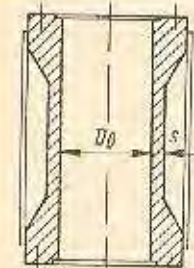


Рис. 15.16. К примеру 15.6

Пример 15.6. Определить толщину стенки кованой цилиндрической обечайки аппарата, работающего под внутренним и наружным давлениями, по следующим данным (рис. 15.16): материал обечайки — сталь марки X18H10T ($E^{500} = 1,55 \cdot 10^5$ Мн/м²;

$\sigma_T^{500} = 140$ Мн/м²; $\alpha^{600} = 18 \cdot 10^{-6}$ 1/°С; $\mu = 0,3$); $\sigma_{\theta} = \sigma_{\theta 0} = 104$ Мн/м²

(1040 кгс/см²); проницаемость материала с внутренней стороны 0,2 мм/год, с наружной стороны — менее 0,01 мм/год ($C_K = 0$); срок службы аппарата 10 лет; $p_c = 15$ Мн/м² (150 кгс/см²); $t_c = 400^\circ$ С; $p_{K0} = 6$ Мн/м² (60 кгс/см²); $t_{nc} = 450^\circ$ С; $D_0 = 0,4$ м; $l = 0,8$ м — обечайка цельнокованая, без отверстий ($\Phi_{ш} = 1$), снаружи обогревается газами; $t_{cm}^n = 440^\circ$ С; $t_{cm}^{\theta} = 420^\circ$ С; поправочный коэффициент $\eta = 1$; в процессе эксплуатации возможно наличие только внутреннего или только наружного давления.

Производим расчет обечайки на внутреннее давление. Расчетную температуру стенки обечайки согласно данным в гл. 14 принимаем $t_{cm} = t_{nc} + 50 = 450 + 50 = 500^\circ$ С.

Расчетное внутреннее давление согласно данным в гл. 14 принимаем $p = p_c = 15$ Мн/м² (150 кгс/см²).

Отношение

$$\frac{\sigma_{\theta}}{p} \Phi_{ш} = \frac{104}{15} \cdot 1 = 6,94 > 5,5.$$

Номинальную расчетную толщину стенки обечайки для данного отношения согласно табл. 15.8 определяем по формуле (15.1)

$$s' = \frac{D_0 p}{203 \Phi_{ш} - p} = \frac{0,4 \cdot 15}{2 \cdot 104 \cdot 1 - 15} = 31,1 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 31,1 \text{ мм}.$$

Производим расчет обечайки на наружное давление.

Расчетное наружное давление согласно данным в гл. 14 принимаем $p_n = p_{K0} = 6$ Мн/м² (60 кгс/см²).

Поскольку $p_n < 10$ Мн/м² (100 кгс/см²), номинальную расчетную толщину стенки обечайки определяем по формуле (15.18)

$$s' = 1,18 D_0 \left(\frac{p_n \cdot l}{E^t} \right)^{0,4} =$$

$$= 1,18 \cdot 0,4 \left(\frac{6}{1,55 \cdot 10^5} \cdot \frac{0,8}{0,4} \right)^{0,4} = 10,7 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 10,7 \text{ мм}$$

За расчетную принимаем большую номинальную расчетную толщину стенки обечайки исходя из внутреннего давления $s' = 31,1$ мм.

Прибавка на коррозию с внутренней стороны исходя из срока службы аппарата — $C_K = 0,2 \cdot 10 = 2$ мм.

Допускаемые отклонения по 7-му кл. точности для размеров D_0 и D_K составляют: $\Delta_0 = \Delta_K = 1,55$ мм.

Допуск на разностенность, исходя из величины $s < 0,1$ м, принимаем $\Delta_p = 3$ мм.

Дополнительную прибавку на допускаемую погрешность при изготовлении определяем по формуле (15.59)

$$C_{\theta} = 0,5(\Delta_0 + \Delta_n + \Delta_p) = 0,5(1,55 + 1,55 + 3) = 3,05 \text{ мм}.$$

Прибавку на округление размера принимаем $C_n = 1,35$ мм.

Суммарную прибавку определяем по формуле (14.12)

$$C = C_K + C_{\theta} + C_{\theta} + C_n = 2 + 0 + 3,05 + 1,35 = 6,4 \text{ мм}.$$

Толщину стенки обечайки с учетом прибавок определяем по формуле (15.10)

$$s = s' + C = 31,1 + 6,4 = 37,5 \text{ мм}.$$

Наружный диаметр обечайки

$$D_K = D_0 + 2s = 400 + 2 \cdot 37,5 = 475 \text{ мм}.$$

Проверим напряжения в стенке обечайки с учетом температурного перепада по толщине стенки.

Коэффициент толстостенности обечайки

$$\beta = \frac{D_K}{D_0 + 2C_K} = \frac{0,475}{0,4 + 2 \cdot 0,002} = 1,175.$$

Температурное напряжение на внутренней поверхности стенки определяем по формуле (15.64)

$$\sigma_t^{\theta} = \frac{\alpha^t E^t (t_{cm}^{\theta} - t_{cm}^n)}{2(1-\mu)} \left(\frac{1}{\ln \beta} - \frac{2\beta^2}{\beta^2 - 1} \right) = \frac{18 \cdot 10^{-6} \cdot 1,55 \cdot 10^5 (470 - 490)}{2(1-0,3)} \times \left(\frac{1}{\ln 1,175} - \frac{2 \cdot 1,175^2}{1,175^2 - 1} \right) = (-39,8) (-1,21) = 48,1 \text{ Мн/м}^2 \text{ (481 кгс/см}^2\text{)}.$$

Температурное напряжение на наружной поверхности стенки определяем по формуле (15.65)

$$\sigma_t^n = \frac{\alpha^t E^t (t_{cm}^{\theta} - t_{cm}^n)}{2(1-\mu)} \left(\frac{1}{\ln \beta} - \frac{2}{\beta^2 - 1} \right) = \frac{18 \cdot 10^{-6} \cdot 1,55 \cdot 10^5 (470 - 490)}{2(1-0,3)} \times \left(\frac{1}{\ln 1,175} - \frac{2}{1,175^2 - 1} \right) = (-39,8) 0,71 = -28,2 \text{ Мн/м}^2 \text{ (-282 кгс/см}^2\text{)}.$$

Суммарное напряжение на внутренней поверхности стенки при внутреннем давлении определяем по формуле (15.66)

$$\sigma^{\theta} = \frac{1,73 \rho \beta^2}{(\beta^2 - 1) \Phi_{ш}} + \sigma_t^{\theta} = \frac{1,73 \cdot 15 \cdot 1,175^2}{(1,175^2 - 1) \cdot 1} + 48,1 = 142,6 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1426 кгс/см}^2\text{)},$$

$$\text{что } > \frac{\sigma_T^{500}}{1,1} = \frac{140}{1,1} = 127 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1270 кгс/см}^2\text{)}$$

и, следовательно, недопустимо.

Обечайки литые

Поэтому, полагая температуры $t_{ст}^n$ и $t_{ст}^m$ неизменными, увеличиваем толщину стенки обечайки до $\delta = 10$ мм и производим проверку напряжений заново:

$$D_n = 0,4 + 2 \cdot 0,04 = 0,48 \text{ м;}$$

$$\beta = \frac{0,48}{0,4 + 2 \cdot 0,002} = 1,19;$$

$$\sigma_i^s = (-39,8) \left(\frac{1}{\ln 1,19} - \frac{2 \cdot 1,19^2}{1,19^2 - 1} \right) = (-39,8) (-1,07) = 42,6 \text{ Мн/м}^2 \text{ (426 кгс/см}^2\text{);}$$

$$\sigma_i^h = (-39,8) \left(\frac{1}{\ln 1,19} - \frac{2}{1,19^2 - 1} \right) = (-39,8) 1,0 = -39,8 \text{ Мн/м}^2 \text{ (-398 кгс/см}^2\text{);}$$

$$\sigma^s = \frac{1,73 \cdot 15 \cdot 1,19^2}{(1,19^2 - 1) 1} + 42,6 = 130,1 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1301 кгс/см}^2\text{),}$$

что $\sim 127 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1270 кгс/см}^2\text{)}$ с превышением на 2%.

Определим суммарное напряжение на наружной поверхности стенки при внутреннем давлении по формуле (15.66)

$$\sigma_n^s = \frac{1,73\rho}{(\beta^2 - 1) \varphi_{ин}} + \sigma_i^s = \frac{1,73 \cdot 15}{(1,19^2 - 1) 1} + (-39,8) = 22,6 \text{ Мн/м}^2 \text{ (226 кгс/см}^2\text{),}$$

что $\ll 127 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1270 кгс/см}^2\text{)}$.

Суммарное напряжение сжатия на наружной поверхности стенки при наружном давлении определяем по формуле (15.68)

$$\sigma_n^h = \frac{p_n (\beta^2 + 1)}{(\beta^2 - 1) \varphi_{ин}} - \sigma_i^h = \frac{6 (1,19^2 + 1)}{(1,19^2 - 1) 1} - (-39,8) = 74,6 \text{ Мн/м}^2 \text{ (746 кгс/см}^2\text{),}$$

что $\ll 127 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1270 кгс/см}^2\text{)}$.

Суммарное напряжение сжатия на внутренней поверхности стенки определяем по формуле (15.69)

$$\sigma_c^s = \frac{2\rho_n \beta^2}{(\beta^2 - 1) \varphi_{ин}} - \sigma_i^s = \frac{2,6 \cdot 1,19^2}{(1,19^2 - 1) 1} - 42,6 = -1,7 \text{ Мн/м}^2 \text{ (-17 кгс/см}^2\text{),}$$

что $\ll 127 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1270 кгс/см}^2\text{)}$.

Здесь знак минус показывает, что напряжения на внутренней поверхности стенки растягивающие, а не сжимающие.

Проверим условие (15.70): при внутреннем давлении

$$0,5 (\sigma^s + \sigma_n^s) = 0,5 (130,1 + 22,6) \approx 76,4 \text{ Мн/м}^2 \text{ (764 кгс/см}^2\text{),}$$

что $\ll \sigma_{\sigma} = 104 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1040 кгс/см}^2\text{)}$; при наружном давлении

$$0,5 (\sigma_c^s + \sigma_n^h) = 0,5 (-1,7 + 74,6) \approx 36,5 \text{ Мн/м}^2 \text{ (365 кгс/см}^2\text{),}$$

что также $\ll \sigma_{\sigma} = 104 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1040 кгс/см}^2\text{)}$.

Литые цилиндрические обечайки из пластичных материалов в химическом аппаратостроении применяются значительно реже, чем сварные, свальцованные из листового проката.

Недостатком литья является его металлоемкость. Запасы прочности при одинаковых материалах для литья берут больше, чем для проката. Кроме того, номинальную расчетную толщину стенок необходимо увеличивать за счет значительной дополнительной прибавки S_0 , обусловленной технологией изготовления литых обечайек и трудностью осуществления качественно тонкостенного литья.

Однако для хрупких конструктивных материалов литые являются единственной технологией изготовления. Наибольшее распространение в химическом аппаратостроении из числа хрупких конструктивных материалов имеют чугуны, сосуды из которых применяются для избыточного

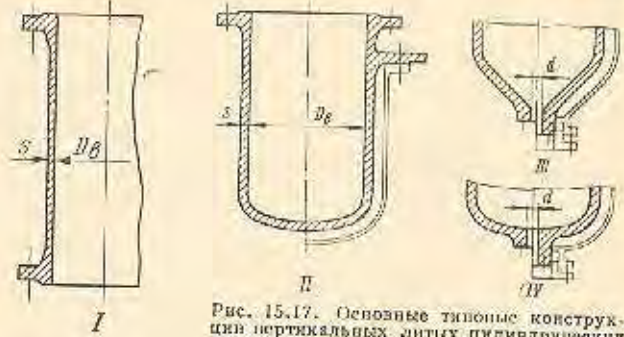


Рис. 15.17. Основные типовые конструкции вертикальных литых цилиндрических обечайек (корпусов) химического аппарата

давления обычно не выше $0,6 \text{ Мн/м}^2$ и температуры не выше 250°C . Такого рода аппараты часто с внутренней стороны подвергаются эмалированию, гуммированию и т. п. Литая химическая аппаратура применяется преимущественно вертикального исполнения и, как правило, снабжается съемными крышками.

На рис. 15.17 показаны основные типовые конструкции литых цилиндрических обечайек (корпусов), выполняемых заводно с днищем. Левая сторона каждого типа представляет обычный вариант, а правая — с рубашкой. Тип I применяется для колонных аппаратов, собираемых из таких обечайек (царг), остальные типы — для разного рода емкостной аппаратуры.

Литые обечайки (корпуса) следует конструировать, как правило, по базовому D_0 . С внутренней стороны они могут выполняться как с механической обработкой, так и без нее. Обработка внутренней поверхности требуется в основном в тех случаях, когда она подлежит какому-либо защитному покрытию (эмалированию, гуммированию и т. д.). Снаружи литые обечайки обычно не обрабатываются.

Отверстия в литых обечайках (корпусах) необходимо укреплять. Конструкцию и расчет укрепления отверстий см. в гл. 18.

Номинальная расчетная толщина стенки литых обечайек, работающих под внутренним или наружным избыточным давлением, а также подверженных дополнительным внешним нагрузкам, определяется по формулам, приведенным выше для свальцованных обечайек⁴.

Толщина обечайек (с учетом прибавок) определяется по формуле (15.10). Выбор прибавки S см. в гл. 14. При этом

⁴ При расчетах для хрупких материалов условно можно принимать $\sigma_r^s \approx 0,5\sigma_s$.

следует иметь в виду, что величина дополнительной прибавки C_0 для литых обечайки на допусковую погрешность по толщине стенки при изготовлении определяется по формуле (15.59), в которой значения Δ_0 и Δ_p рекомендуются принимать по 9-му кл. точности, а $\Delta_p \geq 3$ мм.

Величину прибавки C_0 на округление размера рекомендуется принимать исходя из округления расчетного диаметра D_R в большую сторону до размера, оканчивающегося на 5 или 0 в мм.

Толщина стенок обечайки аппаратов, работающих под наливом и атмосферным давлением, выбирается по конструктивным и технологическим соображениям с последующей проверкой, в случае необходимости, их прочности и устойчивости.

В любом случае толщину стенок литых обечайки рекомендуется принимать: для сталей $s \geq 8$ мм; для цветных металлов и сплавов $s \geq 6$ мм; для чугунов $s \geq 12$ мм; для кварцевого стекла $s \geq 6$ мм.

15.2. КОРОБЧАТЫЕ ОБЕЧАЙКИ

Коробчатая форма обечайки в химическом аппаростроении по сравнению с цилиндрической получила значительно меньшее распространение как относительно материалоэкономия и более сложная в изготовлении.

Однако в ряде случаев, определяемых химико-технологическими требованиями, бывает необходимо констру-

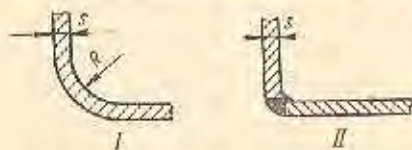


Рис. 15.18. Сопряжение под углом плоских прямоугольных стенок: I — для стенок из листов $R \geq 5s$; для литых стенок $R > 2s$; II — допустимое для сварных аппаратов, работающих под наливом

ировать аппараты коробчатой формы. При этом область применения их большей частью ограничивается избыточным давлением среды в аппарате не более $3,0 \text{ МПа/м}^2$.

Коробчатые обечайки образуются сопряжением четырех прямоугольных стенок. Такие стенки в виде отдельных элементов узлов и деталей в химической аппаратуре встречаются сравнительно часто. Поэтому соображения по конструированию и расчету прямоугольных плоских стенок и коробчатых обечайки, независимо от материала и способа их изготовления, являются общими.

Коробчатые обечайки изготавливаются из листового проката с помощью сварки, а также литыми.

Конструкция сопряжения под углом отдельных плоских прямоугольных стенок показана на рис. 15.18, и основные типовые конструкции коробчатых обечайки (корпусов) химических аппаратов — на рис. 15.19. Левая сторона каждого типа представляет собой вариант с ограничением обечайки фланцами, и правая — с ограничением днищами.

При конструировании коробчатых обечайки и их элементов надлежит руководствоваться следующими основными положениями:

- размеры отдельных плоских прямоугольных стенок, по возможности, следует выбирать малыми;
- при значительных размерах плоских прямоугольных стенок их целесообразно укреплять ребрами;
- для сварных обечайки сварка элементов плоских стенок из листового проката (особенно для аппаратов, работающих под давлением) должна быть только стыковой, вне зоны плавного перехода по радиусу;

сварные швы в стенках следует располагать в местах, отстоящих от любого их края на $1/4$ расстояния между противоположными краями (укрепляющими ребрами, фланцами и т. п.);

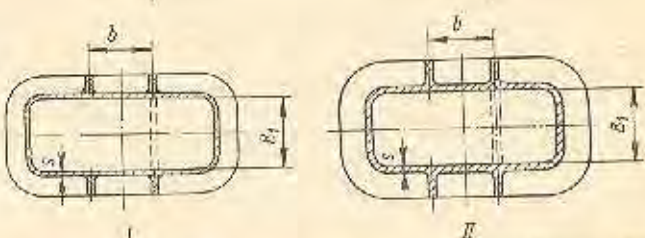
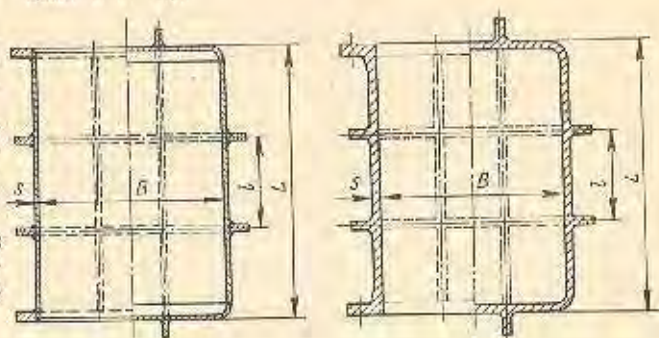


Рис. 15.19. Основные типовые конструкции коробчатых обечайки химических аппаратов: I — сварные; II — литые

отверстия для труб, лазов и т. п. в аппаратах, подверженных избыточному давлению, по возможности не рекомендуется. Отверстия необходимо укреплять. Конструкцию и расчет укрепления отверстий см. в гл. 18.

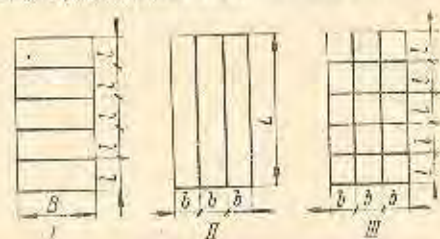


Рис. 15.20. Основные схемы укрепления прямоугольной плоской стенки ребрами:

I — поперечное расположение ребер; II — продольное расположение ребер; III — поперечное и продольное расположение ребер

Укрепление плоских стенок ребрами позволяет снизить их толщину и сделать эти стенки значительно более жесткими, что особенно важно для аппаратов, работающих под избыточным давлением или вакуумом.

На рис. 15.20 показаны основные схемы укрепления прямоугольной плоской стенки ребрами, которые обычно располагаются снаружи стенки. Схема укрепления стенки ребрами и расстояние между ними определяются конструктивными соображениями. Предпочтительнее укреплять стенки ребрами, размещаемыми параллельно меньшей стороне прямоугольной стенки. Типовые поперечные сечения

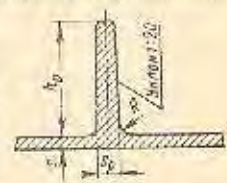


Рис. 15.21. Поперечное сечение укрепления ребра для плоской прямоугольной литой стенки; $h_p = 5s_p$; $R \geq 0,3s_p$.

укрепляющих ребер и соединяем их с прямоугольной стенкой из листового проката см. на рис. 15.5.
 Для литых обечайек применяются ребра, как правило, прямоугольного поперечного сечения (рис. 15.21).

Расчет коробчатых обечайек, работающих под внутренним или наружным давлением

Расчет таких обечайек с достаточной для практики точностью рекомендуется производить по упрощенной методике, рассматривая каждую из четырех прямоугольных плоских стенок, из которых образуется обечайка, как пластину (гладкую или укрепленную ребрами), равномерно нагруженную избыточным давлением p или p_n .

Последовательность конструирования и расчета прямоугольной плоской стенки в этом случае следующая: устанавливается возможность укрепления стенок ребрами и в случае наличия такой возможности выбирается из конструктивных соображений схема расположения укрепляющих ребер и расстояние между ними;

расчетом определяется толщина гладкой прямоугольной плоской стенки (при отсутствии ребер) или ее элемента, ограниченного ребрами;

расчетом определяется предварительный момент сопротивления укрепляющего ребра исходя из условия восприятия одними ребрами (без учета наличия плоской стенки) половины всей нагрузки на плоскую стенку*;

по определенному расчетному моменту сопротивления ребра выбирается его поперечное сечение;

определяется момент сопротивления составного поперечного сечения ребра с частью стенки, приходящейся на одно ребро;

проверяется максимальное изгибающее напряжение в ребрах, которое должно быть в пределах $(1 \div 1,1) \sigma_{изд}$.
 В случае невыполнения последнего условия, размеры укрепляющих ребер необходимо соответственно изменить или пересмотреть схему расположения ребер и расстояние между ними, произвести расчет заново.

Номинальная расчетная толщина гладкой прямоугольной плоской стенки или ее элемента s' в мм (см), ограниченного ребрами исходя из их прочности определяется по формуле

$$s' = Kb \sqrt{\frac{\rho}{\sigma_{изд}}}, \quad (15.71)$$

где b — меньшая сторона прямоугольной плоской стенки или ее элемента, ограниченного ребрами, в мм (см);

$K = f\left(\frac{l}{b}\right)$ — коэффициент, зависящий от способа закрепления стенки или ее элемента по периметру (l — большая сторона прямоугольной стенки или ее элемента).

Значения коэффициента K следует брать по графику рис. 15.22, построенному по табличным данным [183] для конструкционных материалов, имеющих величину коэффициента Пуассона $\mu \approx 0,3$.

Плоские прямоугольные стенки и их элементы считаются жестко закрепленными по краям при наличии на них фланцев, укрепляющих ребер и других аналогичных деталей, а также при сопряжении стенок под углом при условии, что конструкция и размеры этих деталей удовлетворяют требованиям жесткости согласно расчету.

Толщина стенки с учетом прибавок определяется по формуле (15.10).

* Данное условие рекомендуется как прикладное с последующей проверкой правильности его при определении максимального напряжения в ребрах, рассматривая работу последних совместно с плоской стенкой.

Предварительный расчетный момент сопротивления укрепляющего ребра W'_p в $\text{м}^3 (\text{см}^3)$, считая его как балку на двух опорах, нагруженную половинным (см. выше) расчетным давлением p или p_n по площади, соответствующей части прямоугольной стенки, приходящейся на одно ребро (см. рис. 15.20), определяется по формулам для укрепления по схеме I

$$W'_p = \frac{B^2 l p}{2K \sigma_{изд}}; \quad (15.72)$$

для укрепления по схеме II

$$W'_p = \frac{L^2 b p}{2K \sigma_{изд}}; \quad (15.73)$$

для укрепления по схеме III — для поперечных ребер

$$W'_p = \frac{B^2 l p}{4K \sigma_{изд}}; \quad (15.74)$$

а для продольных ребер

$$W'_p = \frac{L^2 b p}{4K \sigma_{изд}}; \quad (15.75)$$

где K — коэффициент, зависящий от способа закрепления ребра на опорах; при жестком закреплении $K = 12$; при нежестком закреплении $K = 8$.

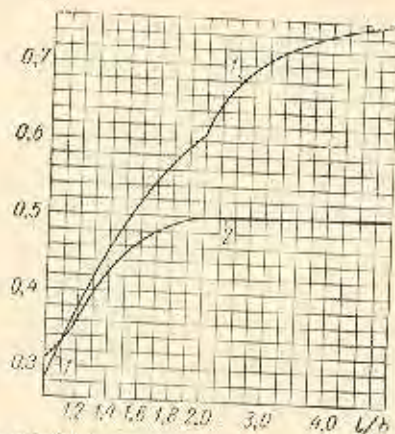


Рис. 15.22. График для определения коэффициента K в формуле (15.71):

1 — для прямоугольной плоской стенки, шарнирно опертой по периметру; 2 — для прямоугольной плоской стенки жестко заделанной по периметру

Формулы (15.72) — (15.75) получены из общеизвестного выражения для момента сопротивления $W_p = \frac{M_u}{\sigma_{изд}}$ путем подстановки в него значений $M_u = \frac{Pl}{2K}$, P (выраженного через p) и соответствующей длины ребра.

Выбор профиля и размеров поперечного сечения ребер следует производить в зависимости от технологии изготовления и величины W'_p . В частности, для прямоугольного сечения ребра при рекомендуемом отношении толщины его к высоте $1 : 5$ номинальная расчетная толщина ребра s' в мм (см) определяется по формуле

$$s' = 0,62 \sqrt[3]{W'_p}; \quad (15.76)$$

Формула (15.76) получена из общеизвестного выражения момента сопротивления для прямоугольного сечения $W = \frac{bh^3}{6}$ путем подстановки в него значений $b = s'_p$ и $h = 5s'_p$. Толщина ребра с учетом прибавок определяется по формуле (15.10). Выбор прибавок см. в гл. 14, а также в настоящей главе — для цилиндрических вальцованных и литых обечайек.

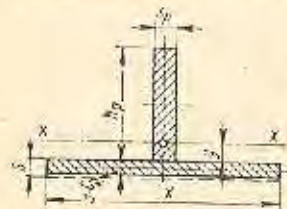


Рис. 15.23. Поперечное сечение элемента плоской прямоугольной стенки с укрепляющим ребром. Для поперечных ребер $x = l$; для продольных ребер $x = b$ (см. рис. 15.20)

При применении в качестве ребер сортового проката (профилей \square , \square , Γ и др.) номер соответствующего профиля выбирается с моментом сопротивления ближайшим большим расчетному W'_p и с учетом двусторонней прибавки на коррозию.

Момент сопротивления составного поперечного сечения ребра с частью стенки W_{pe} в м^3 (см^3), приходящейся на одно ребро (рис. 15.23), определяется по формуле

$$W_{pe} = \frac{J_p + J_c + F_p(0,5h_p - y)^2 + F_c[y + 0,5(s - C_k)]^2}{h_p - y} \quad (15.77)$$

где F_p — площадь принятого поперечного сечения ребра, за вычетом площади, образованной прибавкой на коррозию, в м^2 (см^2);

F_c — площадь принятого поперечного сечения части плоской стенки, приходящейся на одно ребро, за вычетом площади, образованной прибавкой на коррозию, в м^2 (см^2);

J_p — момент инерции площади F_p относительно оси, проходящей через центр тяжести ее параллельно стенке, в м^4 (см^4);

J_c — момент инерции площади F_c относительно оси, проходящей через центр тяжести ее параллельно стенке, в м^4 (см^4);

y — расстояние от стенки до центра тяжести площади составного поперечного сечения в м (см).

В формуле (15.77) F_c в м^2 (см^2) и y в м (см) имеют следующие значения:

$$F_c = x(s - C_k); \quad (15.78)$$

$$y = \frac{F_p h_p - F_c(s - C_k)}{2(F_p + F_c)} \quad (15.79)$$

Толщина гладких прямоугольных плоских стенок обечайки, имеющих разную ширину, обычно принимается одинаковой исходя из расчета для наибольшей.

При укреплении стенок обечайки ребрами последние целесообразно располагать так, чтобы наименьшие по величине расстояния между ними (l и b) были бы во всех стенках примерно одинаковыми.

Максимальные напряжения на изгиб в укрепляющих ребрах σ_u в Мн/м^2 (кгс/см^2) должны отвечать следующим условиям:

при укреплении по схеме I

$$\sigma_u = \frac{B^2 l p}{K W_{pe}} \leq 1,1 \sigma_{ud}^* \quad (15.80)$$

при укреплении по схеме II

$$\sigma_u = \frac{L^2 b p}{K W_{pe}} \leq 1,1 \sigma_{ud}^* \quad (15.81)$$

при укреплении по схеме III и поперечном направлении

$$\sigma_u = \frac{B^2 l p}{2K W_{pe}} \leq 1,1 \sigma_{ud}^* \quad (15.82)$$

в продольном направлении

$$\sigma_u = \frac{L^2 b p}{2K W_{pe}} \leq 1,1 \sigma_{ud}^* \quad (15.83)$$

Формулы (15.80) — (15.83) получены из общеизвестного выражения напряжения на изгиб $\sigma_u = \frac{M_u}{W}$ — путем под-

становки в него значений $M_u = \frac{Pl}{K}$, P (выраженного через p) и соответствующей длины ребра.

Пример 15.7. Определить толщину стенок литой коробчатой обечайки и поперечное сечение укрепляющих ребер (расположение ребер по схеме III, рис. 15.20) аппарата, работающего под внутренним давлением, по следующим данным (рис. 15.24): материал обечайки — сталь 20Л ($\sigma_s^{150} = 400 \text{ Мн/м}^2$; $\sigma_T^{150} = 200 \text{ Мн/м}^2$), литье обычного качества; внутренняя среда — газ; $C_k = 2 \text{ мм}$; $p = 1 \text{ Мн/м}^2$ (10 кгс/см^2); $t_c = 150^\circ \text{С}$; $B = 0,6 \text{ м}$; $B_1 = l = 0,3 \text{ м}$; $H = 1,2 \text{ м}$; $b = b_1 = 0,15 \text{ м}$; обечайка с надежно укрепленными отверстиями; $\eta = 1$.

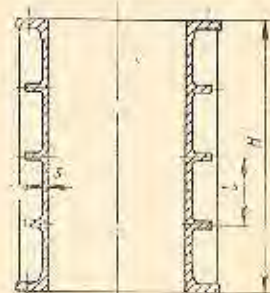


Рис. 15.24. К примеру 15.

Номинальное допускаемое напряжение мое напряжение для стали 20Л по пределу прочности определяем по формуле (14.4)

$$\sigma_d^* = \frac{\sigma_s^l}{n_s} = \frac{400}{3,6} = 111 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1110 кгс/см}^2\text{)}.$$

Номинальное допускаемое напряжение по пределу текучести определяем по формуле (14.5)

$$\sigma_{ud}^* = \frac{\sigma_T^l}{n_T} = \frac{200}{2,1} = 95 \text{ Мн/м}^2 \text{ (950 кгс/см}^2\text{)}.$$

Последнее как меньшее является расчетным.

Окончательно допускаемое напряжение принимаем по формуле (14.11)

$$\sigma_{ud} = \sigma_{ud}^* \eta = 95 \cdot 1 = 95 \text{ Мн/м}^2 \text{ (950 кгс/см}^2\text{)}.$$

Производим расчет прямоугольной плоской стенки.

* Повышение допускаемого напряжения на 10% рекомендуется, учитывая приближенный (в сторону завышей) метод расчета.

Отношение длины к ширине отдельных плоских элементов стенки $l/b = 2$.

Считая элемент стенки жестко закрепленным по периметру, находим величину коэффициента K для $l/b = 2$ по графику рис. 15.22, $K = 0,5$.

Номинальную расчетную толщину стенки определяем по формуле (15.71)

$$s' = Kb \sqrt{\frac{p}{\sigma_{ад}}} = 0,5 \cdot 0,15 \sqrt{\frac{1,0}{95}} = 7,75 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 7,75 \text{ мм.}$$

Толщину стенки, с учетом прибавок, определяем по формуле (15.10), приняв прибавку на округление размера $C_0 = 2,25 \text{ мм}$,

$$s = s' + C_k + C_0 = 7,75 + 2 + 2,25 = 12 \text{ мм.}$$

Производим расчет укрепляющих ребер. Считая закрепление ребер на опорах жестким, определяем предварительные расчетные моменты сопротивления укрепляющих ребер по формулам (15.74) и (15.75):

для поперечных ребер

$$W'_p = \frac{B^2 I p}{4K \sigma_{ад}} = \frac{0,6^2 \cdot 0,3 \cdot 1,0}{4 \cdot 12 \cdot 95} = 23,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

для продольных ребер

$$W'_p = \frac{H^2 h p}{4K \sigma_{ад}} = \frac{1,2^2 \cdot 0,15 \cdot 1,0}{4 \cdot 12 \cdot 95} = 47,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Выбираем ребра прямоугольного сечения с отношением толщины к высоте его 1 : 5.

Номинальные расчетные толщины ребер определяем по формуле (15.76):

для поперечных ребер

$$s'_p = 0,62 \sqrt[3]{W'_p} = 0,62 \sqrt[3]{23,7 \cdot 10^{-6}} = 17,8 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 17,8 \text{ мм};$$

для продольных ребер

$$s'_p = 0,62 \sqrt[3]{W'_p} = 0,62 \sqrt[3]{47,4 \cdot 10^{-6}} = 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 22,4 \text{ мм.}$$

Находим номинальные расчетные площади поперечного сечения ребер:

для поперечных ребер

$$F'_p = s'_p h'_p = 5 (s'_p)^2 = 5 \cdot 0,0178^2 = 15,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

для продольных ребер

$$F'_p = 5 (s'_p)^2 = 5 \cdot 0,0224^2 = 25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Находим моменты инерции номинальных расчетных площадей поперечного сечения ребер относительно оси, проходящей через центр тяжести их, параллельно стенке:

$$J'_p = \frac{s'_p (h'_p)^3}{12} = \frac{125 (s'_p)^4}{12} = \frac{125 \cdot 0,0178^4}{12} = 104,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4;$$

для продольных ребер

$$J'_p = \frac{125 (s'_p)^4}{12} = \frac{125 \cdot 0,0224^4}{12} = 260 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4.$$

Находим площади поперечных сечений части плоской стенки, приходящейся на одно ребро, по формуле (15.78):

$$F_c = l (s - C_k) = 0,3 (0,012 - 0,002) = 30 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

для продольных ребер

$$F_c = b (s - C_k) = 0,15 (0,012 - 0,002) = 15 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Находим моменты инерции площадей F_c относительно оси, проходящей через центр тяжести их, параллельно стенке:

для поперечных ребер

$$J_c = \frac{l (s - C_k)^3}{12} = \frac{0,3 (0,012 - 0,002)^3}{12} = 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4;$$

для продольных ребер

$$J_c = \frac{b (s - C_k)^3}{12} = \frac{0,15 (0,012 - 0,002)^3}{12} = 1,25 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4.$$

Находим расстояния от стенки до центра тяжести площади составного поперечного сечения по формуле (15.79):

для поперечных ребер

$$y = \frac{F'_p h'_p - F_c (s - C_k)}{2 (F'_p + F_c)} = \frac{15,8 \cdot 10^{-4} \cdot 5 \cdot 0,0178 - 30 \cdot 10^{-4} (0,012 - 0,002)}{2 (15,8 \cdot 10^{-4} + 30 \cdot 10^{-4})} = 0,012 \text{ м};$$

для продольных ребер

$$y = \frac{F'_p h'_p - F_c (s - C_k)}{2 (F'_p + F_c)} = \frac{25 \cdot 10^{-4} \cdot 5 \cdot 0,0224 - 15 \cdot 10^{-4} (0,012 - 0,002)}{2 (25 \cdot 10^{-4} + 15 \cdot 10^{-4})} = 0,0331 \text{ м}.$$

Находим моменты сопротивления составных поперечных сечений ребра с частью стенки, приходящейся на одно ребро, по формуле (15.77):

для поперечных ребер

$$W'_{pc} = \frac{J'_p + J_c + F'_p (0,5 h'_p - y)^2 + F_c [y + 0,5 (s - C_k)]^2}{h'_p - y} = \frac{104,5 \cdot 10^{-8} + 2,5 \cdot 10^{-8} + 15,8 \cdot 10^{-4} \times (0,5 \cdot 5 \cdot 0,0178 - 0,012)^2 + 30 \cdot 10^{-4} [0,012 + 0,5 (0,012 - 0,002)]^2}{5 \cdot 0,0178 - 0,012} = 42,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

для продольных ребер

$$W_{pc} = \frac{J'_p + J_e + F'_p (0,5h'_p - y)^2 + F_e [y + 0,5(s - C_x)]^2}{h'_p - y}$$

$$= \frac{260 \cdot 10^{-8} + 1,25 \cdot 10^{-8} + 25 \cdot 10^{-4} \times (0,5 \cdot 5 - 0,0224 - 0,0331)^2 + 15 \cdot 10^{-4} [0,0331 + 0,5(0,012 - 0,002)]^2}{5 - 0,0224 - 0,0331} = 77,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

Определяем максимальные напряжения на изгиб в укрепляющих ребрах — по формуле (15.82) в поперечных ребрах — по формуле (15.83)

$$\sigma_a = \frac{B^2 \rho}{2KW_{pc}} = \frac{0,6^2 \cdot 0,3 \cdot 1,0}{2 \cdot 12 \cdot 77,5 \cdot 10^{-6}} = 105,5 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1055 кс/см}^2\text{)},$$

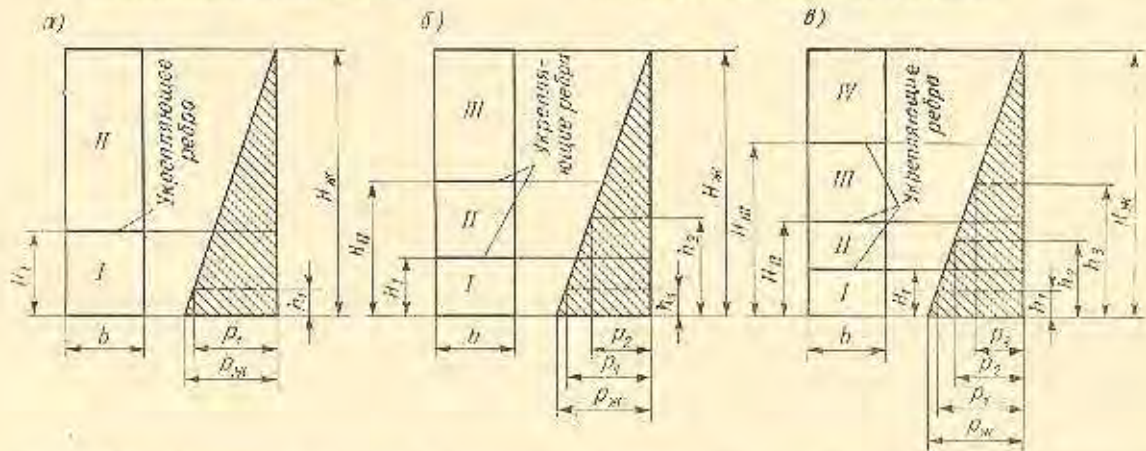


Рис. 15.25. Рекомендуемое размещение укрепляющих горизонтальных ребер на вертикальных прямоугольных плоских стенках, подверженных гидростатическому давлению: а — при одном ребре; б б — при двух ребрах; в — при трех ребрах

что $\approx 1,1 \sigma_{ad} = 1,1 \cdot 95 = 104,5 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1045 кс/см}^2\text{)}$; в продольных ребрах — по формуле (15.83)

$$\sigma'_a = \frac{I^2 b \rho}{2KW_{pr}} = \frac{1,2^2 \cdot 0,15 \cdot 1,0}{2 \cdot 12 \cdot 77,5 \cdot 10^{-8}} = 116 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1160 кс/см}^2\text{)},$$

что превышает (на 11%) $104,5 \text{ Мн/м}^2$.

Поэтому окончательно принимаем сечение ребер: поперечных $18 \times 90 \text{ мм}$, продольных $23 \times 115 \text{ мм}$.

Расчет обечаск, работающих под наливом и атмосферным давлением

Расчет таких обечаек сводится к определению толщины плоских прямоугольных стенок или их элементов, образующих обечайку, исходя из условия прочности их против гидростатического давления столба жидкости, к выбору профиля и числа укрепляющих ребер, а также к определению поперечного сечения последних.

Емкости или баки коробчатой формы, работающие под наливом, применяются в качестве кожухов для погружных трубных холодильников и конденсаторов, для хранения различных жидкостей и тому подобных аппаратов. Емкость такого рода аппаратов обычно не превышает 100, реже 200 м³.

Номинальную расчетную толщину плоской прямоугольной стенки или ее элемента s' следует определять по формуле (15.71), в которой вместо ρ рекомендуется подставлять гидростатическое давление столба жидкости, действующее в нижней части рассчитываемой стенки (или ее элемента).

Толщина стенки с учетом прибавок определяется по формуле (15.10). В любом случае толщину стенки из коррозионноустойчивых металлических и неметаллических материалов рекомендуется принимать не менее 3 мм.

Укрепление стенок ребрами целесообразно производить в тех случаях, когда больший размер стенки превышает 0,6—0,8 м, причем располагать ребра рекомендуется параллельно меньшей стороне прямоугольной стенки.

Чаще всего стенки укрепляются вертикальными ребрами, располагаемыми на равном расстоянии друг от друга. При укреплении стенок горизонтальными ребрами их рационально размещать, исходя из условия равномерной нагрузки на ребра (на разных расстояниях друг от друга). Число таких ребер по высоте стенки практически более трех применять не требуется.

На рис. 15.25 показано рекомендуемое размещение горизонтальных укрепляющих ребер, исходя из равномерной нагрузки на них гидростатического столба жидкости в аппарате.

При одном укрепляющем ребре (рис. 15.25, а) размещать его по высоте следует по центру тяжести прямоугольного треугольника с катетами ρ_1 и $H_{ж} - h_1$.

Для нахождения ρ_1 и h_1 составим два уравнения:

$$2 \frac{\rho_{жс} + \rho_1}{2} h_1 = \frac{1}{2} \rho_1 (H_{ж} - h_1); \quad (1)$$

$$\frac{\rho_{жс}}{H_{ж}} = \frac{\rho_1}{H_{жс} - h_1}. \quad (2)$$

Решая совместно эти уравнения, получим: $h_1 = 0,184 H_{ж}$; $\rho_1 = 0,816 \rho_{жс}$, откуда

$$H_I - h_1 = \frac{H_{жс} - h_1}{3} = \frac{H_{жс} + 2h_1}{3} = \frac{H_{жс} + 2 \cdot 0,184 H_{ж}}{3} = 0,456 H_{ж}. \quad (15.84)$$

При двух укрепляющих ребрах (рис. 15.25, б) размещать их по высоте следует по центрам тяжести трапеци

с параллельными сторонами p_1 и p_2 и прямоугольного треугольника с катетами p_2 и $H_{жс} - h_2$.

Для нахождения p_1 , p_2 , h_1 и h_2 составим четыре уравнения:

$$2 \frac{p_{жс} + p_1}{2} h_1 = \frac{1}{2} (p_1 + p_2) (h_2 - h_1); \quad (1)$$

$$2 \frac{p_{жс} + p_1}{2} h_1 = \frac{1}{2} p_2 (H_{жс} - h_2); \quad (2)$$

$$\frac{p_{жс}}{H_{жс}} = \frac{p_1}{H_{жс} - h_1}; \quad (3)$$

$$\frac{p_{жс}}{H_{жс}} = \frac{p_2}{H_{жс} - h_2}. \quad (4)$$

Решая совместно эти уравнения, получим: $h_1 = 0,105H_{жс}$; $h_2 = 0,37H_{жс}$; $p_1 = 0,895p_{жс}$; $p_2 = 0,63p_{жс}$, откуда

$$H_I = h_1 + \frac{h_2 - h_1}{3} \cdot \frac{p_1 + 2p_2}{p_1 + p_2} = 0,105H_{жс} + \frac{0,37 - 0,105}{3} H_{жс} \frac{0,895 + 2 \cdot 0,63}{0,895 + 0,63} = 0,23H_{жс}; \quad (15.85)$$

$$H_{II} = h_2 + \frac{H_{жс} - h_2}{3} = 0,37H_{жс} + \frac{H_{жс} - 0,37H_{жс}}{3} = 0,58H_{жс}. \quad (15.86)$$

При трех ребрах (рис. 15.25, в) размещать их по высоте следует по центрам тяжести: трапеций с параллельными сторонами p_1 и p_2 , p_2 и p_3 и прямоугольного треугольника с катетами p_3 и $H_{жс} - h_3$.

Для нахождения p_1 , p_2 , p_3 , h_1 , h_2 и h_3 составим шесть уравнений:

$$2 \frac{p_{жс} + p_1}{2} h_1 = \frac{1}{2} (p_1 + p_2) (h_2 - h_1); \quad (1)$$

$$\frac{1}{2} (p_2 + p_3) (h_3 - h_2) = \frac{1}{3} (p_1 + p_2) (h_2 - h_1); \quad (2)$$

$$2 \frac{p_{жс} + p_1}{2} h_1 = \frac{1}{2} p_3 (H_{жс} - h_3); \quad (3)$$

$$\frac{p_{жс}}{H_{жс}} = \frac{p_1}{H_{жс} - h_1}; \quad (4)$$

$$\frac{p_{жс}}{H_{жс}} = \frac{p_2}{H_{жс} - h_2}; \quad (5)$$

$$\frac{p_{жс}}{H_{жс}} = \frac{p_3}{H_{жс} - h_3}. \quad (6)$$

Решая совместно эти уравнения, получим: $h_1 = 0,074H_{жс}$; $h_2 = 0,244H_{жс}$; $h_3 = 0,466H_{жс}$; $p_1 = 0,926p_{жс}$; $p_2 = 0,756p_{жс}$; $p_3 = 0,534p_{жс}$, откуда

$$H_I = h_1 + \frac{h_2 - h_1}{3} \cdot \frac{p_1 + 2p_2}{p_1 + p_2} = 0,074H_{жс} + \frac{0,244 - 0,074}{3} H_{жс} \frac{0,926 + 2 \cdot 0,756}{0,926 + 0,756} = 0,157H_{жс}; \quad (15.87)$$

$$H_{II} = h_2 + \frac{h_3 - h_2}{3} \cdot \frac{p_2 + 2p_3}{p_2 + p_3} = 0,244H_{жс} + \frac{0,466 - 0,244}{3} H_{жс} \frac{0,756 + 2 \cdot 0,534}{0,756 + 0,534} = 0,349H_{жс}; \quad (15.88)$$

$$H_{III} = h_3 + \frac{H_{жс} - h_3}{3} = 0,466H_{жс} + \frac{H_{жс} - 0,466H_{жс}}{3} = 0,644H_{жс}. \quad (15.89)$$

Количество горизонтальных ребер рекомендуется принимать в зависимости от высоты столба жидкости $H_{жс}^*$ в аппарате в м:

Без ребер	при $H_{жс} \leq 0,6$
Одно ребро	" $H_{жс} > 0,6$ до 1,5
Два ребра	" $H_{жс} > 1,5$ " 2,5
Три "	" $H_{жс} > 2,5$

При укреплении стенок обечайки (для аппаратов, работающих под давлением при атмосферном давлении) вертикальными ребрами для простоты расчета обычно принимается, что вся нагрузка от гидростатического давления воспринимается одними ребрами (без учета стенки). Такое допущение идет в запас расчета, и при относительно больших моментах сопротивления ($W_p \geq 50 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$) ребер увеличение прочности ребра, считая его совместно с элементом стенки, бывает незначительным. При небольших моментах сопротивления ребер расчет их рекомендуется производить по упрощенной методике, приведенной выше для расчета коробчатых обечайек, работающих под давлением.

Расчет вертикальных ребер на всю гидростатическую нагрузку производится следующим образом.

Общая нагрузка от гидростатического давления на элемент плоской стенки P в Мн (кгс) , действующая на одно ребро,

$$P = \frac{1}{2} p_{жс} H_{жс}^2 l, \quad (15.90)$$

где $p_{жс} = g \rho_{жс} H_{жс} 10^{-6} \text{ кг/см}^3$ — максимальное гидростатическое давление в нижней части аппарата в Мн/м^2 ;

$H_{жс}$ — высота столба жидкости в аппарате в м (см);

l — расстояние между осями ребер в м (см).

Максимальный изгибающий момент M_u в $\text{Мн} \cdot \text{м (кгс} \cdot \text{см)}$, действующий на ребро, считая его как балку, свободно лежащую на двух опорах и нагруженную силой P (по треугольнику)

$$M_u = 0,128 P H_{жс}. \quad (15.91)$$

Расчетный момент сопротивления ребра W'_p в $\text{м}^3 (\text{см}^3)$

$$W'_p = \frac{M_u}{\sigma_{из}}, \quad (15.92)$$

где $\sigma_{из}$ — допускаемое напряжение на изгиб для материала ребра в $\text{Мн/м}^2 (\text{кгс/см}^2)$.

Расчетный момент сопротивления вертикального ребра можно определять непосредственно по следующей формуле, подставив в (15.92) значения M_u и P из (15.91) и (15.90),

$$W'_p = \frac{0,064 \cdot 10^{-6} g \rho_{жс} H_{жс}^3 l}{\sigma_{из}}. \quad (15.93)$$

* Имеются в виду жидкости с $\rho_{жс} < 1,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

** При общепринятой системе единиц $p_{жс} = \gamma_{жс} H_{жс} \text{ кгс/см}^2$.

*** При общепринятой системе единиц $W'_p = \frac{0,064 \gamma_{жс} H_{жс}^3 l}{\sigma_{из}} \text{ см}^3$.

Расчет горизонтальных укрепляющих ребер производится следующим образом.

Общая нагрузка от гидростатического давления на элемент плоской стенки шириной b в м (см) P в Мк (кгс), действующая на любое одно ребро (при размещении их согласно рис. 15.25), зависит от количества ребер: при одном ребре

$$P = \frac{1}{2} \rho_1 (H_{жк} - h_1) b, \quad (15.94)$$

где значения ρ_1 и h_1 см. выше для рис. 15.25, а; при двух ребрах

$$P = \frac{1}{2} \rho_2 (H_{жк} - h_2) b, \quad (15.95)$$

где значения ρ_2 и h_2 см. выше для рис. 15.25, б; при трех ребрах

$$P = \frac{1}{2} \rho_3 (H_{жк} - h_3) b, \quad (15.96)$$

где значения ρ_3 и h_3 см. выше для рис. 15.25, в.

Максимальный изгибающий момент $M_{из}$ в Мк·м (кгс·см), действующий на ребро, считая его как балку, свободно лежащую на двух опорах и равномерно нагруженную силой P ,

$$M_{из} = \frac{Pb}{8}, \quad (15.97)$$

Расчетный момент сопротивления ребра определяется по формуле (15.92). Его можно определять в зависимости от количества горизонтальных ребер непосредственно по следующим формулам, подставив в (15.92) значения $M_{из}$ и P из (15.97), (15.94), (15.95) и (15.96):

при одном ребре

$$W'_p = \frac{0,051 \cdot 10^{-6} g \rho_{жк} H_{жк} (H_{жк} - h_1) b^2}{\sigma_{изд}}; \quad (15.98)$$

при двух ребрах

$$W'_p = \frac{0,0394 \cdot 10^{-6} g \rho_{жк} H_{жк} (H_{жк} - h_2) b^2}{\sigma_{изд}}; \quad (15.99)$$

при трех ребрах

$$W'_p = \frac{0,0333 \cdot 10^{-6} g \rho_{жк} H_{жк} (H_{жк} - h_3) b^2}{\sigma_{изд}}. \quad (15.100)$$

Опорами вертикальных ребер являются днища корпуса. При открытой сверху обечайке верхние борта прямоугольных стенок необходимо соответственно укрепить или предусмотреть тяги в местах ребер между противоположными стенками, воспринимающими нагрузку от верхних опор ребер.

Величина этой нагрузки P_0 в Мк (кгс) определяется по формуле

$$P_0 = \frac{P}{3}, \quad (15.101)$$

где P — общая нагрузка, действующая на одно ребро, определяемая по (15.90), в Мк (кгс).

Опорами горизонтальных ребер являются перпендикулярные стенки обечайки или вертикальные ребра.

Расстояния между осями вертикальных ребер рекомендуется выбирать в пределах 0,6—1,2 м.

* При общепринятой системе единиц в числителе вместо $10^{-6} g \rho_{жк}$ подставляется $\gamma_{жк}$.

Тяги между противоположными стенками обечайки, воспринимающие нагрузку от верхних опор вертикальных ребер, в сварной аппаратуре можно выполнять из сортового проката, фасонного или круглого сечения. Последние принимаются диаметром не менее 16 мм.

Пример 15.8. Определить толщину стенок сварной коробчатой обечайки и поперечное сечение укрепляющих ребер для аппарата, работающего под паром, по следующим данным (рис. 15.26): материал обечайки — сталь марки Ст.3, $\sigma_{изд} = 140$ Мк/м² (1400 кгс/см²); обечайка внутри гудирована ($C_K = 0$); среда — жидкость $\rho_{жк} = 1,3 \cdot 10^3$ кг/м³ ($\gamma_{жк} = 1,3 \cdot 10^{-3}$ кгс/см³); $t_c = 20^\circ$ С; $L = 6$ м; $B = 2,4$ м; $H = 3,2$ м; $b = 1,2$ м; $H_{жк} = 3$ м; $\eta = 1$.

Расчетное (гидростатическое) давление в нижней части аппарата (при $p_c = 0$) определяем по формуле (14.1)

$$p_{жк} = p_c + g \rho_{жк} H_{жк} \cdot 10^{-6} = 0 + 9,81 \cdot 1,3 \cdot 10^3 \cdot 3,0 \cdot 10^{-6} \approx 0,039 \text{ Мк/м}^2 \text{ (0,39 кгс/см}^2\text{)}.$$

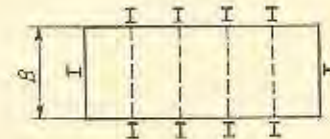


Рис. 15.26. К примеру 15.8

Положение по вертикали горизонтальных ребер определяем по формулам (15.87), (15.88) и (15.89):

$$H_1 = 0,157 H_{жк} = 0,157 \cdot 3 = 0,471 \text{ м;}$$

$$H_2 = 0,349 H_{жк} = 0,349 \cdot 3 = 1,047 \text{ м;}$$

$$H_3 = 0,644 H_{жк} = 0,644 \cdot 3 = 1,932 \text{ м.}$$

Производим расчет прямоугольных плоских стенок обечайки.

Определим высоту отдельных элементов стенок между осями горизонтальных ребер при общей одинаковой ширине элементов стенок 1,2 м (между осями вертикальных ребер): для первого (снизу) элемента $H_I = H_1 = 0,471$ м; для второго элемента $H_{II} = H_2 - H_1 = 1,047 - 0,471 = 0,576$ м; для третьего элемента $H_{III} = H_3 - H_2 = 1,932 - 1,047 = 0,885$ м; для четвертого элемента $H_{IV} = H_{жк} - H_3 = 3,0 - 1,932 = 1,068$ м.

Считая элементы стенок жестко закрепленными по периметрам, находим величину коэффициента K для каждого из них по графику рис. 15.22 в зависимости от соотношения сторон в элементе:

Для первого при отношении сторон 1,2 : 0,471 = 2,55	$K_I = 0,5$
Для второго при отношении сторон 1,2 : 0,576 = 2,08	$K_{II} = 0,5$
Для третьего при отношении сторон 1,2 : 0,885 = 1,36	$K_{III} = 0,12$
Для четвертого при отношении сторон 1,2 : 1,068 = 1,125	$K_{IV} = 0,3$

Определим гидростатическое давление в нижней части каждого из элементов:

$$p_I = p_{жс} = 0,039 \text{ Мн/м}^2 \text{ (0,39 кгс/см}^2\text{);}$$

$$p_{II} = \frac{H_{жс} - H_1}{H_{жс}} p_{жс} = \frac{3,0 - 0,471}{3,0} \cdot 0,039 =$$

$$= 0,0329 \text{ Мн/м}^2 \text{ (0,329 кгс/см}^2\text{);}$$

$$p_{III} = \frac{H_{жс} - H_2}{H_{жс}} p_{жс} = \frac{3,0 - 1,047}{3,0} \cdot 0,039 =$$

$$= 0,0254 \text{ Мн/м}^2 \text{ (0,254 кгс/см}^2\text{);}$$

$$p_{IV} = \frac{H_{жс} - H_3}{H_{жс}} p_{жс} = \frac{3,0 - 1,932}{3,0} \cdot 0,039 =$$

$$= 0,0139 \text{ Мн/м}^2 \text{ (0,139 кгс/см}^2\text{).}$$

Номинальную расчетную толщину элементов стенки определяем по формуле (15.71):

$$s'_I = K_I H_I \sqrt{\frac{p_I}{\sigma_{вд}}} = 0,5 \cdot 0,471 \sqrt{\frac{0,039}{140}} =$$

$$= 3,93 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 3,93 \text{ мм};$$

$$s'_{II} = K_{II} H_{II} \sqrt{\frac{p_{II}}{\sigma_{вд}}} = 0,5 \cdot 0,576 \sqrt{\frac{0,0329}{140}} =$$

$$= 4,41 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 4,41 \text{ мм};$$

$$s'_{III} = K_{III} H_{III} \sqrt{\frac{p_{III}}{\sigma_{вд}}} = 0,412 \cdot 0,885 \sqrt{\frac{0,0254}{140}} =$$

$$= 4,92 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 4,92 \text{ мм};$$

$$s'_{IV} = K_{IV} H_{IV} \sqrt{\frac{p_{IV}}{\sigma_{вд}}} = 0,328 \cdot 1,068 \sqrt{\frac{0,0139}{140}} =$$

$$= 3,49 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 3,49 \text{ мм};$$

Толщину всех элементов стенок с учетом прибавок определяем по формуле (15.10) для наибольшей номинальной толщины s'_{III} , выбрав прибавку на округление размера до ближайшего большего по сортаменту $C_0 = 0,08 \text{ мм}$

$$s = s'_{III} + C_0 = 4,92 + 0,08 = 5 \text{ мм}.$$

Расчетный момент сопротивления вертикального ребра определяем по формуле (15.93)

$$W'_p = \frac{0,064 \cdot 10^{-6} g p_{жс} H_{жс}^3 b}{\sigma_{вд}} =$$

$$= \frac{0,064 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 1,3 \cdot 10^3 \cdot 3^3 \cdot 1,2}{140} = 192 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Выбираем ребра из □ № 20 — $W_x = 184 \text{ см}^3$, ГОСТ 8239—56.

Расчетный момент сопротивления горизонтального ребра определяем по формуле (15.100)

$$W'_p = \frac{0,0333 \cdot 10^{-6} g p_{жс} H_{жс} (H_{жс} - h_3) b^2}{\sigma_{вд}} =$$

$$= \frac{0,0333 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 1,3 \cdot 10^3 \cdot 3 (3 - 1,398) 1,2^2}{140} =$$

$$= 21,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Выбираем ребра из □ № 8 — $W_x = 22,4 \text{ см}^3$, ГОСТ 8240—56.

15.3. СФЕРИЧЕСКИЕ ОБЕЧАЙКИ

Исходя из расхода материала наиболее экономичной формой оболочки емкости является сферическая (шаровая). Однако условия технологического процесса и трудоемкость изготовления в известной степени ограничивают применение сферических обечаек. Сферическая форма обечаек (рис. 15.27) применяется главным образом в различных шаровых емкостях большой вместимости (100 м³ и более), предназначенных для хранения и транспортирования разного рода жидкостей и газов, а также как переходная часть — от цилиндрической к конической в корпусах аппарата, например в целлюлозно-бумажных котлах, выдувных резервуарах и других подобного рода аппаратах.

Область применения сферических обечаек, наряду с атмосферным давлением, обычно ограничивается внутренним избыточным давлением до 2,5 Мн/м² и вакуумом.

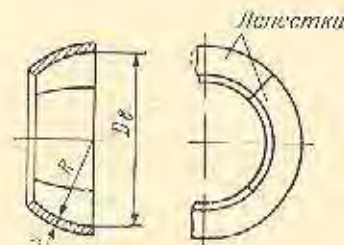


Рис. 15.27. Сферическая обечайка

Технология изготовления сферических обечаек состоит преимущественно из штамповки соответствующих лепестков из листового проката с последующей сваркой их между собой встык. Размеры лепестков должны выбираться в зависимости от размеров листов, целесообразности раскроя (с наименьшими отходами), возможности штамповки, а также с обеспечением минимальной протяженности швов. При этом следует применять лепестки нормализованных полушаровых днищ с размещением их в смежных обечайках согласно [166]. Все швы должны иметь доступ для осмотра и, в случае необходимости, для подварки.

Отверстия для труб, лазов и т. п. по швам размещать не рекомендуется. Для обечаек, работающих под наружным давлением (при вакууме в аппарате), все отверстия должны быть полностью укреплены. Конструкция и расчет укрепления отверстий см. в гл. 18.

Толщина стенки обечаек, работающих под внутренним или наружным избыточным давлением, определяется расчетом, исходя из прочности и устойчивости, с учетом ограничения по температуре стенки обечайки, указанного выше для вальцованных цилиндрических обечаек.

Что касается обечаек, работающих под наливом и атмосферным давлением, то толщину их стенок большей частью выбирают из конструктивных и технологических соображений с последующей проверкой, в случае необходимости, прочности и устойчивости таких обечаек расчетом.

В любом случае толщину стенки (без прибавки на коррозию) стальных штампованных сферических обечаек рекомендуется принимать не менее указанных в табл. 15.9 в зависимости от большего диаметра обечайки.

Допускаемые отклонения размеров и формы сферических сварных обечаек, а также допускаемое смещение кромок в сварных швах аналогичны таковым для соответствующих диаметров и толщин стенок стальных цилиндрических обечаек и полушаровых днищ, приведенных соответственно в табл. 15.4, 15.5 и в гл. 16.

Таблица 15.9

Рекомендуемые минимальные толщины (без прибавки на коррозию) стальных стенок сферических штампованных обечаек s в мм

Внешний диаметр обечайки $D_в$	< 2000	> 2000 до 4000	> 4000 до 8000	> 8000 до 12 000
s	6	8	10	12—14

Примечание. Указанные толщины стенок обечаек при возможности коррозии их материала соответственно увеличиваются на коррозионную прибавку C_k .

Расчет обечаек, работающих под внутренним давлением

Определение номинальной расчетной толщины стенки таких обечаек s' (заданных практически только по базовому $D_в$), исходя из прочности, рекомендуется производить по формулам, приведенным в табл. 15.10, в зависимости от величины отношения заранее известных определяющих параметров σ_d и p с учетом коэффициента ослабления φ обечайки.

Таблица 15.10

Формулы для определения номинальной расчетной толщины сферических (шаровых) стенок s' штампованных сварных металлических и неметаллических обечаек, работающих под внутренним давлением

$\frac{\sigma_d}{p} \varphi$	При базовом $D_в$ в м (см)
$\geq 2,75$, но $< 12,5$	$s' = \frac{D_в p}{4\sigma_d \varphi - p}$ (15.102)
$\geq 12,5$	$s' = \frac{D_в p}{4\sigma_d \varphi}$ (15.103)
$< 2,75$	$s' = 0,5 D_в \left(\sqrt[3]{\frac{2\sigma_d \varphi}{2\sigma_d \varphi - 3p}} - 1 \right)^*$ (15.104)

p — расчетное давление в аппарате в $МН/м^2$ ($кгс/см^2$);
 σ_d — допускаемое напряжение на растяжение для материала обечайки в $МН/м^2$ ($кгс/см^2$);
 Данные по определению p и σ_d см. в гл. 14.

* Получена путем преобразования условия прочности (по теории максимальных касательных напряжений) толстостенного шара, подверженного внутреннему давлению, $\frac{3R_N^3}{2(R_N^3 - R_в^3)} p_N \leq \sigma_d$ [108], заменив в нем R_N на $\frac{D_в}{2} + s'$, $R_в$ на $\frac{D_в}{2}$ и введя коэффициент ослабления φ при σ_d .

Предлагаемый однозначный расчет в зависимости от $\frac{\sigma_d}{p} \varphi$ получен на основе соответствующего преобразования условия (границы) применения формулы (15.102) ($\frac{ОН26-01-13-65}{П1039-65}$)

$$\frac{s - C_k}{D_в} \leq 0,1, \quad (15.105)$$

Полагая в (15.105) $C_k = 0$ и подставляя значение $s = s'$ из (15.105) в (15.102), получим

$$0,1 D_в \geq \frac{D_в p}{4\sigma_d \varphi - p},$$

или после преобразований

$$\frac{\sigma_d}{p} \varphi \geq 2,75, \quad (15.106)$$

что является нижним пределом применения формулы (15.102).

Формулу (15.102) можно упростить в пределах допустимой погрешности расчета толщины стенки в 2% (в меньшую сторону), исключив из знаменателя p . В этом случае имеем

$$\frac{D_в p}{4\sigma_d \varphi - p} = 1,02 \frac{D_в p}{2\sigma_d \varphi},$$

или после преобразований

$$\frac{\sigma_d}{p} \varphi = 12,5, \quad (15.107)$$

что является верхним пределом применения формулы (15.102). Определение коэффициента φ см. в п. 15.1 для цилиндрических обечаек.

Толщина стенки обечайки s с учетом прибавок определяется по формуле (15.10).

При проверочных расчетах допускаемое внутреннее давление p_d в $МН/м^2$ ($кгс/см^2$) для обечаек при соблюдении условия (15.105) определяется по формуле*

$$p_d \leq \frac{4\sigma_d \varphi (s - C_k)}{D_в - (s - C_k)}. \quad (15.108)$$

Расчет обечаек, работающих под наружным давлением

Номинальная расчетная толщина стенки s' в м (см) таких обечаек из пластичных металлических материалов, исходя из устойчивости их в пределах упругости (при запасе на устойчивость $n_y = 2,6$) и при допуске на овальность в любом направлении не более 0,5% от диаметра $D_в$, определяется по формуле**

$$s' = 0,73 D_в \sqrt{\frac{p_n}{E^1}}. \quad (15.109)$$

Толщина s стенки обечайки с учетом прибавок определяется по формуле (15.10).

* Получена путем преобразования формулы (15.102) и замены в ней p на p_d и s' на $s - C_k$.

** Получена путем преобразования формулы для критического давления шаровой оболочки, подверженной наружному давлению [108] $p_{кр} = \frac{2E^1 (s')^3}{R_в^2 \sqrt{3(1-\mu^2)}}$ с заменой в ней $R_в$ на $\frac{D_в}{2}$, $p_{кр}$ на $n_y p_n$ и $\sqrt{1-\mu^2} \approx 0,95$.

При проверочных расчетах допускаемое наружное давление $p_{вд}$ в Мн/м^2 (кгс/см^2) определяется по формуле*

$$p_{вд} \leq 1,87 E^2 \left(\frac{s - C_K}{D_0} \right)^2, \quad (15.110)$$

Расчет на наружное давление обечаек из неметаллических и хрупких металлических материалов с некоторым приближением рекомендуется производить по приведенным выше формулам с введением поправки в виде множителя $\frac{n_g}{2,6}$. Причем этот множитель в формуле (15.109) вводится в подкоренное выражение. Значения $n_g = n_y$ для разных материалов рассчитываемой обечайки см. в гл. 14.

15.4. КОНИЧЕСКИЕ ОБЕЧАЙКИ

Коническая форма обечаек применяется для некоторых видов аппаратов, а также как переходная часть в разного рода цилиндрических аппаратах с переменными диаметрами.

Технология изготовления конических обечаек аналогична цилиндрическим (вальцовка и сварки из листового проката,ковка, литье) и зависит в основном

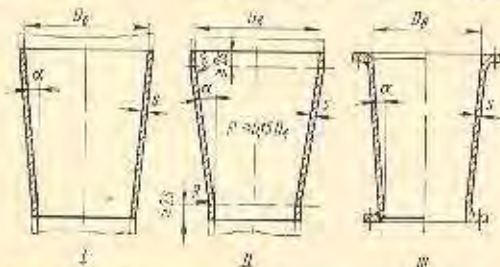


Рис. 15.28. Основные типовые конструкции конических обечаек

от материала обечайки и рабочего давления в аппарате по соображениям, изложенным выше для цилиндрических обечаек.

На рис. 15.28 показаны основные типовые конструкции конических обечаек химических аппаратов.

Тип I представляет собой конструкцию обечайки из листового проката (без отбортовки краев), применяемую для аппаратов, работающих под внутренним или наружным избыточным давлением не более $4,0 \text{ Мн/м}^2$ при $\alpha \leq 10^\circ$ и без давления или под наливом при $\alpha \leq 45^\circ$.

* Получена путем преобразования формулы (15.109) и замены в ней p_K на $p_{вд}$ и s' на $s - C_K$.

Тип II представляет собой конструкцию обечайки из листового проката (с отбортовкой краев), поковки и литья (из пластичных материалов), применяемую для аппаратов, работающих под внутренним или наружным давлением при $\alpha \leq 45^\circ$.

Тип III представляет собой конструкцию обечайки из листового проката (левая сторона) из поковки или литья из пластичных и хрупких материалов (правая сторона), ограниченную фланцами, применяемую для аппаратов, работающих под внутренним давлением, без давления и под наливом при $\alpha \leq 45^\circ$.

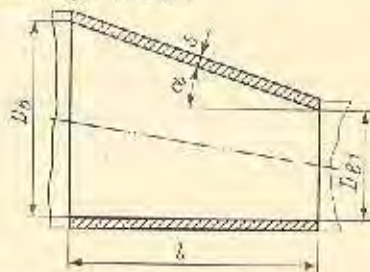


Рис. 15.29. Несимметричная коническая обечайка

Кроме указанных основных конструкций, в некоторых видах горизонтальных кожухотрубных теплообменников для избыточных давлений до $4,0 \text{ Мн/м}^2$ применяются несимметричные конические обечайки, показанные на рис. 15.29, которые изготавливаются из листового проката вальцовкой при $\alpha \leq 30^\circ$.

Отверстия для труб, люков и т. п. по швам размещать не рекомендуется. Для обечаек, работающих под наружным избыточным давлением и при вакууме, все отверстия должны быть полностью укреплены. Конструкцию и расчет укрепления отверстий см. в гл. 18.

Толщина стенок обечаек, работающих под внутренним или наружным давлением, определяется расчетом, исходя из прочности и устойчивости, с учетом ограничения по температуре стенки обечайки, указанного выше для вальцованных цилиндрических обечаек.

Толщину стенок обечаек, работающих под наливом и атмосферным давлением, следует выбирать согласно данным, приведенным для соответствующих (по материалу и диаметру) цилиндрических обечаек.

Допускаемые отклонения размеров и формы конических обечаек, а также допускаемое смещение кромок в сварных швах — те же, что и в цилиндрических обечайках.

Расчет конических обечаек, работающих под внутренним и наружным давлением, см. в гл. 16 для конических днищ.

ДНИЩА

Составными элементами корпусов химических аппаратов являются днища, которые, как правило, органически связаны с обечайкой аппарата и изготавливаются из того же материала. В сварной и паяной аппаратуре днища обычно привариваются или припаяются к обечайке, в ковальной и литой аппаратуре из пластичных материалов они либо представляють собой одно целое с обечайкой, либо также свариваются с ней; в литой аппаратуре из хрупких материалов днище всегда выполняется заодно с обечайкой. Форма днища определяется сопрягаемой с ним формой обечайки, химико-технологическими требованиями, предъявляемыми к тому или иному аппарату, давлением среды в нем, конструктивными соображениями и бывает эллиптической, полусферической, конической, плоской (круглой и прямоугольной).

Днищем в дальнейшем будем называть узел, деталь или элемент аппарата, который ограничивает корпус снизу*, сверху* или с боков,** неразъемно соединен с обечайкой, или аналогичный элемент корпуса, составляющий с ним одно целое.

16.1. ЭЛЛИПТИЧЕСКИЕ ДНИЩА

Одной из рациональных форм днищ в цилиндрических аппаратах (с точки зрения восприятия давления) является эллиптическая. Этим объясняется широкое применение в химическом аппаратостроении штампованных (из листового проката) эллиптических днищ.

Стандартизованные и нормализованные штампованные эллиптические днища из различных металлических и неметаллических конструкционных материалов следует применять в соответствующих по материалу сварных и паяных цилиндрических аппаратах вертикального и горизонтального исполнения, работающих под внутренним и наружным избыточным давлением свыше $0,07 \text{ МПа}$. Их возможно применять и в цилиндрических горизонтальных аппаратах, работающих под паром и атмосферным давлением.

Предусмотренные стандартами и нормами толщины стенок штампованных эллиптических днищ ограничивают область их применения избыточным давлением в аппарате не выше 10 МПа . В отдельных обоснованных случаях допускается применение эллиптических отбортованных днищ не по стандартам и нормам при наличии специальных штампов или изготовления днищ путем ручной выколотки.

В литых цилиндрических аппаратах независимо от давления рекомендуется форму днищ применять эллиптическую, за исключением нижних днищ в аппаратах вертикального исполнения, когда по условиям технологического процесса требуется выполнять их коническими. Рекомендуемые соотношения размеров эллиптических днищ показаны на рис. 16.1.

В табл. 16.1—16.6 приведены основные данные о стандартизованных штампованных эллиптических днищах из стали и цветных металлов и сплавов (латуни, алюминия и меди). В табл. 16.7 приведены основные данные об эллиптических отбортованных днищах из винниласта и фальта.

Днища, размер заготовок которых больше стандартных размеров листов, изготавливаются составными из двух или трех листов (сваренных до штамповки) либо из штампованных секторов и центрального эллиптического диска с по-

следующей сваркой их между собой. На рис. 16.2 показана типовая конструкция такого днища. Число секторов и диаметр центрального диска выбираются, исходя из рационального раскроя листов, возможностей штамповки, минимальной длины сварных швов и конструктивных соображений.

Соединение составных частей днища между собой, так же как и присоединение днища к обечайке, осуществляется преимущественно сваркой встык. Присоединение днища к обечайке в паяной и клеевой аппаратуре осуществляется внахлестку.

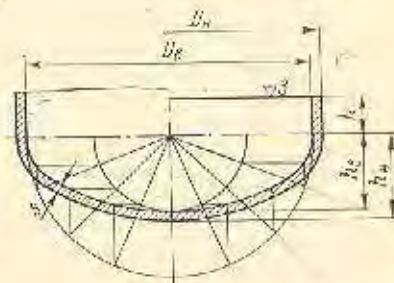


Рис. 16.1. Рекомендуемые соотношения размеров эллиптических днищ: $h_0 = 0,25 D_g$, но не менее $0,2 D_g$; для днищ из листового проката $h \geq 2s$, но не менее 25 мм

Кроме указанных выше днищ для корпусов аппаратов, эллиптические штампованные днища применяются и в трубопроводах. В табл. 16.8 и 16.9 приведены основные данные для таких нормализованных днищ, применяемых в стальных трубопроводах при избыточном давлении в них до 10 МПа .

Толщина стенок эллиптических днищ, работающих под внутренним или наружным избыточным давлением, определяется расчетом, исходя из прочности и устойчивости.

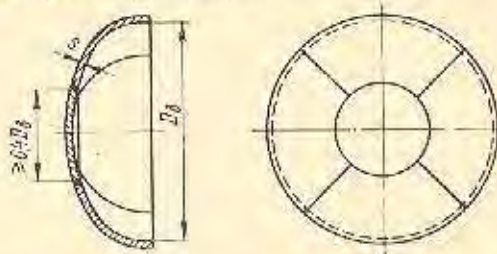


Рис. 16.2. Конструкция эллиптического днища, сваренного из отдельных штампованных частей

Отверстия в эллиптических днищах, подверженных внутреннему давлению, рекомендуется упрочнять, а отверстия, подверженные наружному давлению — должны быть полностью укреплены. Конструкцию и расчет укрепления отверстий см. в гл. 18.

Одно отверстие в днище предпочтительно делать в центре его. При наличии нескольких отверстий расположение их должно отвечать рис. 16.3, причем большее отверстие следует располагать ближе к центру. Если в днище необходимо иметь центрально расположенное отверстие, диаметр которого больше половины диаметра днища, то рекомендуется его осуществлять с помощью обратного выгнутого перехода (по рис. 16.4). Такие отверстия не укрепляются.

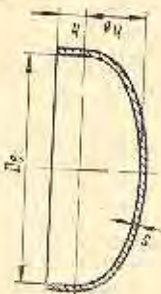
* Имеются в виду вертикальные цилиндрические и коробчатые корпуса.

** Имеются в виду горизонтальные цилиндрические корпуса.

Таблица 16.1

Днища эллиптические отбортованные стальные с внутренними базовыми размерами (по ГОСТу 6533—68)

Условное обозначение днища с $D_0 = 400$ мм, $s = 6$ мм и $h = 25$ мм из стали марки СЭГЭС: «Днище 400Х6-25-ЭГЭС ГОСТ 6533-68»



D_0 мм	h_0 мм	h, мм												$F_0, \text{кг}$	$V, \cdot 10^3, \text{л}$	$D_{\text{вн}}$ мм	$\frac{F_0}{V}$ кг/л	D, мм	m
		s, мм																	
		5	6																
400 (450)	100	0,05								11,5						516	6,6	518	9,9
	112	0,256							15,9							575	9,1	577	12,3
500	125	0,310							21,3							634	9,9	636	15,0
	137	0,371							27,7	31,3						693	11,8	695	17,9
600	150	0,437							35,3	39,6						752	13,9	754	21,0
	162	0,509							44,2	49,2						811	16,2	813	24,4
700	175	0,586							54,5	60,3						870	18,6	872	28,1
	203	0,756	0,819						79,6	87,1						986	24,0	990	36,2
800	225	0,943	1,02						111	121						1104	30,0	1108	45,3
	250	1,16	1,24						151	162						1221	36,7	1225	53,5
1000	275	1,40	1,48						198	212									
	300	1,66	1,71						255	271									
1200 (1300)	325	1,93	2,00						321	341									
	350	2,23	2,37						398	421									
1500 (1600)	375	2,56	2,67						486	513									
	400	2,90	2,98						586	617									
1700 (1800)	425	3,27	3,35						700	734									
	450	3,74	3,79						865	891									
2000 (2100)	475	4,15	4,21						1011	1040									
	500	4,59	4,65						1173	1204									
2200	550	5,52	5,59						1545	1584									
	600	6,55	6,62						1991	2036									
2400	650	7,65	7,74						2513	2556									
	700	8,85	8,94						3120	3181									
3000	750	10,1	10,2						3817	3888									
	800		11,6						4691	4772									
3400	850		13,1						5059	5116									
	900		14,6						6516	6718									
3800	950																		
	1000																		
4000																			

D _н , мм	S, мм																					
	8		10		12		14		16		18		20		22		24		26		28	
	D	m	D	m	D	m	D	m	D	m	D	m	D	m	D	m	D	m	D	m	D	m
400	523	13,5	525	17,0	527	20,6	530	24,2	533	28,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(450)	580	16,6	584	21,0	587	25,4	589	29,9	591	34,5	595	39,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
500	639	20,1	644	25,5	646	30,8	648	36,2	651	41,7	653	47,3	558	53,0	—	—	—	—	—	—	—	—
(550)	698	24,0	700	30,2	705	36,7	707	43,2	710	49,7	712	56,2	738	67,1	—	—	—	—	—	—	—	—
600	757	28,2	759	35,5	764	43,2	767	50,7	769	58,3	795	70,1	797	78,3	800	86,7	802	95,6	—	—	—	—
(650)	815	32,8	818	41,2	820	49,7	826	58,8	828	67,6	854	80,9	887	90,4	859	100	861	110	865	120	—	—
700	874	37,7	877	47,4	879	57,1	885	67,5	911	81,8	914	92,5	916	109	918	114	921	125	923	136	996	148
800	992	48,5	995	60,9	997	73,5	1023	90,3	1030	105	1032	118	1034	132	1037	146	1039	160	1041	174	1044	188
900	1110	60,7	1112	76,2	1139	95,9	1141	112	1144	129	1150	147	1153	164	1155	181	1157	198	1160	215	1162	233
1000	1228	74,3	1230	93,2	1257	117	1259	137	1261	157	1264	177	1271	199	1273	220	1276	241	1278	262	1296	290
1100	1345	89,2	1372	116	1375	140	1377	164	1379	188	1382	212	1384	235	1392	268	1394	287	1412	320	1415	345
1200	1463	105	1490	137	1492	165	1495	193	1497	221	1499	249	1502	278	1504	307	1528	345	1531	375	1533	405
(1300)	1605	127	1608	159	1610	192	1612	224	1615	257	1617	290	1619	323	1638	364	1640	398	1649	436	1652	471
1400	1723	146	1725	183	1728	221	1730	258	1733	296	1735	334	1753	379	1756	418	1758	457	1761	496	1770	540
(1500)	1840	167	1843	209	1846	252	1848	295	1850	337	1859	387	1871	431	1874	476	1876	520	1878	565	1897	621
1600	1959	189	1961	237	1963	285	1966	333	1968	382	1987	438	1989	487	1991	537	1994	588	2012	649	2015	700
(1700)	2076	212	2079	246	2081	320	2083	374	2102	436	2104	491	2107	547	2109	603	2111	659	2310	737	2312	784
1800	2194	237	2196	297	2199	357	2201	418	2220	486	2222	548	2224	610	2227	672	2246	746	2248	809	2250	873
(1900)	2312	263	2314	330	2316	397	2319	464	2338	539	2340	607	2342	666	2361	756	2363	826	2366	896	2368	967
2000	2429	291	2432	364	2434	438	2438	519	2455	594	2458	670	2460	746	2479	833	2481	910	2483	988	2486	1066
2200	2661	349	2667	438	2669	527	2688	623	2691	714	2693	804	2712	906	2714	998	2716	1091	2719	1184	2738	1293
2400	2896	413	2919	525	2921	631	2924	737	2926	844	2945	962	2947	1070	2950	1179	2952	1288	2971	1413	2973	1525
2600	3131	483	3150	611	3157	737	3159	861	3161	985	3180	1122	3183	1248	3185	1375	3204	1517	3206	1646	3208	1776
2800	3365	558	3385	706	3387	848	3394	994	3413	1148	3416	1294	3418	1439	3437	1601	3439	1749	3442	1897	3444	2046
3000	3601	639	3620	807	3622	970	3641	1144	3649	1312	3651	1478	3670	1659	3672	1828	3675	1996	3677	2165	3696	2356
3200	—	—	3855	916	3857	1100	3875	1296	3879	1483	3881	1670	3905	1879	3908	2069	3910	2260	3929	2472	3931	2686
3400	—	—	—	—	4092	1238	4111	1458	4114	1668	4133	1894	4141	2112	4143	2326	4162	2561	4164	2777	4167	2994
3600	—	—	—	—	4327	1384	4346	1629	4349	1864	4368	2115	4370	2392	4378	2598	4397	2859	4400	3100	4402	3342
3800	—	—	—	—	4598	1823	4609	2086	4605	2619	4630	2949	4605	2619	4630	2906	4653	3173	4635	3441	4654	3737
4000	—	—	—	—	4833	2014	4835	2305	4835	2595	4840	2886	4866	3209	4868	3504	4887	3825	4887	3825	4889	4123

Продолжение табл. 15.1

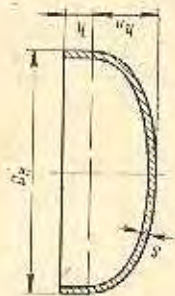
$D, \text{ мм}$	$s, \text{ мм}$											
	30	32	34	36	38	40	42	46	50	55	60	
	$D^*, \text{ мм}; m, \text{ кг}$											
	D	m	D	m	D	m	D	m	D	m	D	m
700	929	159	331	171	—	—	—	—	—	—	—	—
800	1046	202	1050	217	1068	238	1070	254	1072	269	1075	284
900	1180	258	1183	276	1185	294	1188	319	1190	331	1192	350
1000	1299	312	1301	334	1304	356	1306	378	1308	401	1311	423
1100	1417	371	1420	397	1422	424	1424	450	1443	487	1445	514
1200	1535	436	1538	466	1540	497	1550	539	1561	570	1563	602
(1300)	1654	506	1672	551	1675	587	1677	624	1679	660	1682	697
1400	1788	591	1791	632	1793	673	1795	715	1798	757	1800	798
(1500)	1907	672	1909	718	1911	765	1914	812	1916	859	1934	922
1600	2017	752	2027	810	2030	863	2032	916	2050	984	2053	1038
(1700)	2135	842	2137	900	2148	966	2166	1041	2169	1101	2171	1162
1800	2253	935	2255	1002	2273	1083	2285	1158	2287	1224	2289	1292
(1900)	2370	1038	2389	1125	2391	1198	2394	1271	2405	1354	2408	1428
2000	2504	1159	2507	1239	2509	1319	2511	1399	2514	1479	2542	1592
2200	2740	1382	2742	1482	2745	1578	2747	1673	2749	1769	2768	1888
2400	2975	1606	2978	1748	2980	1860	2999	1994	3001	2108	3003	2223
2600	3211	1905	3230	2050	3232	2188	3234	2320	3237	2452	3255	2611
2800	3463	2216	3465	2367	3467	2518	3470	2670	3488	2849	3491	3002
3000	3698	2527	3700	2699	3703	2872	3722	3072	3724	3246	3736	3421
3200	3934	2859	3936	3054	3955	3276	3957	3472	3959	3670	3962	3867
3400	4169	3212	4188	3457	4190	3677	4192	3898	4195	4119	4214	4375
3600	4421	3612	4423	3857	4426	4102	4428	4348	4447	4628	4443	4877
3800	4656	4007	4659	4278	4661	4550	4680	4857	4682	5132	4684	5407
4000	4892	4422	4894	4721	4913	5055	4915	5358	4918	5661	4920	5954

Примечания:

1. Материал днищ — листовая сталь углеродистая, высокоуглеродистая, легированная и высоколегированная (см. п. 2).
2. Приведенные толщина стенки днища, а соответственно и размеры по сериювым листовым стали (см. п. 2).
3. Масса днищ указана для стали при $\rho = 7,85 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Для получения массы днища из высоколегированной стали требуется применить коэффициенты 1,01.
4. Высота борта днища h приведена в табл. 15.2.
5. Диаметр заглубок D указан без учета выкладки при штамповке и припуска на обточку.
6. Горизонтальные линии, отграничивающие значения D и m , соответствуют определенным запасам высоты борта h , указанным в табл. 15.2 для различных толщин стенки днища s .

* $F_{\text{вн}}$ — внутренняя поверхность днища; V — емкость днища; D — диаметр заглубок; m — масса днища.

Днища эллиптические отбортованные стальные с наружными базовыми размерами (по ГОСТу 6533—68)

Условное обозначение днища с $D_n = 273$ мм, $s = 8$ мм, $r_n = 8$ мм, $H_n = 25$ мм из стали марки 16ГС: «Днище 273×6—25—16ГС ГОСТ 6533—68»

D_n	H_n	s, мм																			
		4			6			8			10			12							
мм		F_n	V	D	m	F_n	V	D	m	F_n	V	D	m	F_n	V	D	m				
159	40	0,036	0,87	220	1,2	0,034	0,81	217	1,7	0,032	0,74	214	2,3	0,031	0,68	211	2,7	0,029	0,62	209	3,2
219	55	0,054	2,06	291	2,1	0,062	1,93	288	3,1	0,059	1,82	286	4,0	0,057	1,70	283	4,9	0,055	1,60	280	5,8
273	68	0,096	3,74	354	3,1	0,093	3,56	352	4,6	0,090	3,38	350	6,0	0,087	3,21	347	7,4	0,084	3,04	344	8,7
325	81					0,129	5,78	413	6,3	0,127	5,53	411	8,3	0,122	5,29	408	10,3	0,119	5,06	406	12,2
377	94									0,163	8,12	489		0,163	8,12	489	13,6	0,158	7,81	467	16,1
426	106									0,207	11,6	527		0,207	11,6	527	17,1	0,205	11,2	525	20,3
480	120									0,262	16,3	590		0,262	16,3	590	21,5	0,257	15,8	588	25,5
530	132									0,317	21,8	649		0,317	21,8	649	25,9	0,312	21,2	646	30,9
630	157									0,466	36,0	766		0,466	36,0	766	36,1	0,439	35,2	763	43,1
720	180									0,580	53,2	871		0,580	53,2	871	46,7	0,572	52,1	869	55,9

Продолжение табл. 16.3

D_n мм	H_n	s, мм																		
		14			15			18			20			22						
мм		F_n	V	D	m	F_n	V	D	m	F_n	V	D	m	F_n	V	D	m			
219	0,052	1,49	277	6,6	0,050	1,4	275	7,4	0,048	1,3	272	8,2	0,046	1,21	269	8,9	—	—	—	—
273	0,091	2,88	341	10,0	0,079	2,73	339	11,3	0,076	2,58	335	12,5	0,073	2,44	333	13,7	0,070	2,30	331	14,8
325	0,115	4,83	402	14,0	0,112	4,62	400	15,8	0,109	4,43	398	17,5	0,106	4,20	395	19,1	0,102	4,00	391	20,7
377	0,155	7,50	465	18,6	0,151	7,21	461	20,9	0,148	6,92	458	23,3	0,144	6,64	456	25,6	0,140	6,37	454	27,9
426	0,195	10,8	522	23,5	0,194	10,4	520	26,6	0,190	10,0	516	29,5	0,185	9,67	513	32,5	0,181	9,31	511	35,4
480	0,252	15,3	585	29,6	0,247	14,9	583	33,5	0,242	14,4	581	37,4	0,237	13,9	576	40,9	0,233	13,7	577	48,4
530	0,307	20,6	644	35,8	0,300	20,0	642	40,6	0,296	19,4	639	45,3	0,314	21,7	661	53,8	0,308	21,1	665	59,3
630	0,433	34,3	761	48,9	0,427	33,5	759	56,7	0,450	36,8	780	67,3	0,442	36,0	778	74,6	0,435	35,1	776	81,5
720	0,538	56,6	890	68,4	0,590	55,5	888	77,7	0,583	54,3	886	87,0	0,576	53,2	883	96,1	0,568	52,1	881	105

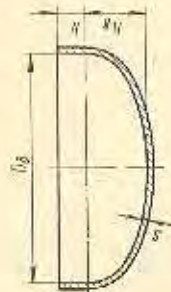
D _н , мм	s, мм															
	24					28					32					
F _г , мм ²	V, мм ³	D, мм	m, мм	F _г , мм ²	V, мм ³	D, мм	m, мм	F _г , мм ²	V, мм ³	D, мм	m, мм	F _г , мм ²	V, мм ³	D, мм	m, мм	
																F _г , мм ²	V, мм^{3}	D, мм	m, мм	F_{г}, мм^{2}	V, мм^{3}	D, мм	m, мм
273	0,068	2,17	327	15,8	0,046	2,04	325	16,9	0,063	1,92	322	17,9	0,061	1,80	320	18,9
325	0,099	3,80	389	22,3	0,096	3,62	386	23,9	0,093	3,44	382	25,3	0,090	3,26	380	26,7
377	0,136	6,10	449	29,8	0,133	5,84	447	32,0	0,125	5,61	448	37,7	0,141	5,53	465	40,0
426	0,195	10,7	532	41,8	0,190	10,3	527	44,5	0,185	9,92	525	47,5	0,182	9,57	522	50,4
480	0,248	15,2	595	52,3	0,242	14,8	593	56,3	0,238	14,3	590	60,1	0,233	13,8	585	63,3
530	0,303	20,5	654	63,1	0,297	19,9	651	67,9	0,292	19,3	649	72,6	0,287	18,8	647	77,2
630	0,429	34,3	773	88,4	0,422	33,5	768	94,5	0,416	32,7	766	101	0,409	31,9	763	108
720	0,561	51,0	879	114	0,533	50,0	876	123	0,516	48,9	874	132	0,539	47,9	868	139

Примечания:
 1. Материал дна — листовая сталь углеродистая, низкоуглеродистая, легированная и высокоуглеродистая (см. гл. 2).
 2. Масса дна указана для стали при $\rho = 7,85 \cdot 10^3$ кг/м³. Для получения массы дна из высокоуглеродистой стали необходимо применить коэффициент 1,01.
 3. Высота борта над лопастей дна $h = 25$ мм, под лопастей дна $h = 40$ мм.
 4. Диаметры заготовок D указаны без учета припуска при штамповке и припуска на обработку.

* F_г — внутренняя поверхность дна; V — емкость дна; D — диаметр заготовки; m — масса дна.

Таблица 16.4

Дна эллиптические отбортованные алюминиевые и латунные (по ГОСТу 13472—68)



Условное обозначение дна с D_г = 400 мм, s = 5 мм, h = 25 мм, ряда точности 2а из алюминиевого сплава марки АМгС: «Дна 400×5—2а—АМгС ГОСТ 13472—68»

D _г	h, мм										s, мм				
	40	50	60	70	80	90	25	40	50	60	70	80	90	D _г , мм	m _г , кг
200	50	0,059					2,0							276	1,0
250	63	0,087					3,0							337	1,5
300	75	0,121					5,0							396	2,1
350	88	0,161					8,0							454	2,8
400	100	0,205					12,0							514	3,5

D _a мм	s, мм																		
	4			5			6			8			10			12			
	D	m ₁	m ₂	D	m ₁	m ₂	D	m ₁	m ₂	D	m ₁	m ₂	D	m ₁	m ₂	D	m ₁	m ₂	
200	279	—	2,0	281	—	2,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
250	339	1,0	3,0	340	—	3,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
300	398	1,4	4,2	399	1,7	5,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
350	457	1,8	5,5	459	2,3	6,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
400	516	2,3	7,0	517	2,9	8,8	519	3,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
450	575	2,8	8,7	576	3,5	10,9	577	4,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
500	635	3,5	10,6	636	4,3	13,3	637	5,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
550	693	4,1	12,8	694	5,2	15,9	696	6,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
600	752	4,8	15,0	753	6,1	18,7	755	7,3	698	8,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
630	811	5,6	17,4	812	7,1	21,8	813	8,5	756	9,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
700	870	5,5	20,1	871	8,1	25,1	872	9,5	816	11,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—
750	929	7,4	22,9	930	9,3	28,6	931	11,2	874	13,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
800	988	8,4	25,9	989	10,5	32,4	990	12,6	934	14,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
850	1047	9,4	29,1	1048	11,8	36,4	1050	14,2	992	16,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
900	1106	10,5	32,5	1107	13,1	40,6	1109	15,8	1052	19,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
950	1164	11,6	36,0	1165	14,6	45,1	1166	17,5	1110	21,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1000	1224	12,8	39,8	1225	16,1	49,7	1226	19,3	1169	23,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1100	1341	15,4	47,8	1342	19,3	59,8	1343	23,2	1228	26,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1200	1459	18,2	56,6	1460	22,8	70,8	1461	27,5	1345	31,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1300	1577	21,3	66,1	1578	26,7	82,7	1579	32,1	1463	36,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1400	1694	24,6	76,4	1695	30,8	95,5	1696	37,0	1585	44,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1500	1812	28,2	87,4	1813	35,2	109	1815	42,3	1722	50,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1600	1930	—	99,1	1931	40,0	124	1932	48,1	1840	57,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1700	2048	—	112	2049	45,0	140	2050	54,0	1957	65,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1800	2165	—	125	2167	50,3	156	2190	61,7	2075	73,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1900	2284	—	139	2285	—	174	2307	—	2193	82,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2000	2401	—	154	2402	—	192	2426	—	2310	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2200	2636	—	185	2659	—	236	2661	—	2563	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2400	—	—	—	2894	—	279	2896	—	2898	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2600	—	—	—	3128	—	326	3130	—	3133	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2800	—	—	—	3363	—	377	3365	—	3368	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3000	—	—	—	3598	—	432	3600	—	3602	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3200	—	—	—	3839	—	492	3841	—	3843	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3400	—	—	—	—	—	—	4076	—	4096	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3600	—	—	—	—	—	—	5311	—	4330	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3800	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 16.3

D, мм	S, мм																		
	14		16		18		20		22		25		30		35				
D, мм	m ₁	m ₂	D	m ₁	m ₂	D	m ₁	m ₂	D	m ₁	m ₂	D	m ₁	m ₂	D	m ₁	m ₂	D	
	800	1023	31,4	1026	35,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
850	1083	35,2	1085	40,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
900	1141	39,1	1142	44,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
950	1200	43,2	1203	49,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1000	1259	47,6	1262	54,6	1264	61,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1100	1378	56,9	1379	65,2	1382	73,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1200	1495	67,1	1498	76,9	1500	86,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1300	1612	78,0	1614	89,4	1618	101	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1400	1730	89,8	1733	103	1736	116	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1500	1849	103	1851	117	1870	135	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1600	1967	116	1969	133	1987	152	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1700	2084	130	2103	152	2106	171	1990	170	2108	191	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1800	2202	146	2220	169	2223	191	2226	212	2243	235	2249	271	—	—	—	—	—	—	—
1900	2319	161	2338	187	2341	211	2343	235	2361	260	2365	300	2368	330	2371	364	—	—	—
2000	2433	181	2452	207	2458	233	2461	260	2478	280	2485	330	2492	370	2500	404	2514	474	—
2200	2688	217	2691	248	2694	280	2710	315	2743	350	2748	384	2758	424	2770	464	2786	504	—
2400	2923	256	2926	293	2945	335	2948	372	2978	410	2978	444	2998	484	3002	524	3022	564	—
2600	3158	299	3160	342	3180	390	3184	435	3205	478	3205	520	3214	564	3238	604	3238	644	—
2800	3392	348	3412	399	3415	450	3419	501	3436	557	3440	634	3464	711	3472	774	3472	814	—
3000	3644	398	3647	456	3650	514	3669	577	3672	636	3676	724	3700	850	3724	934	3724	1010	—
3200	3880	452	3883	517	3885	582	3904	653	3907	720	3910	819	3935	936	3960	1040	3960	1176	—
3400	4120	—	4121	—	4140	—	4130	734	4142	809	4162	928	4171	1119	4195	1320	4195	1520	—
3600	4354	—	4356	—	4376	—	4378	—	4377	903	4397	1036	4421	1257	4430	1472	4430	1682	—
3800	—	—	—	—	—	—	4614	—	4629	1010	4632	1149	4657	1394	4665	1632	4665	—	—

Примечания:

1. Материал диска — листовая прокат из алюминия марок А3 и А5, алюминиевых сплавов марок А100, АД0, АД1, АД, АМц, АМцС, АМг5 и АМг5 в латуни марки Л62. В обозначениях сплавов указывается изготовитель диска из других марок алюминия, его сплавов и латуни.
2. Диаметр изготовления: штамповкой на прессе, ротационной отбортовкой резаном и штамповкой горячей заливкой.
3. Допускается изготовление на осевом размере, диск в горячем состоянии. Допускаемых отклонений установлены в табл. 16.5.
4. Высота борта диска R прилагается в табл. 16.5.
5. Диаметр zero-лок D указывается без учета вытяжки при штамповке и припуска на сборку.
6. Гормонтальные линии, ограничивающие значения D и m, соответствуют определенным значениям высоты борта h, указанным в табл. 16.5 для различных толщин стенок диска z.

F_в — внутренняя поверхность диска; V — емкость диска; D — диаметр диска; m — масса диска; z — толщина стенки диска.

Высота борта в алюминиевых и латунных эллиптических отбортованных днищах
(по ГОСТу 13472-68)

Таблица 16.5

D _н мм	s, мм															
	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	30	35
h, мм																
200	25															
250	25															
300	25															
350	25															
400	25															
450	25															
500	25															
550	25															
600	25															
650	25															
700	25															
750	25															
800	25															
850	25															
900	25															
950	25															
1000	25															
1100	25															
1200	25															
1300	25															
1400	25															
1500	25															
1600	25															
1700	25															
1800	25															
1900	25															
2000	25															
2200	25															
2400	25															
2600	25															
2800	25															
3000	25															
3200	25															
3400	25															
3600	25															
3800	25															

Примечание. Настоящая таблица является дополнением к табл. 16.4

Таблица 16.6

Продолжение табл. 16.4.

Днища эллиптические отбортованные медные
(тип 3 по ГОСТу 11972—66)



Условное обозначение днища с $D_0 = 500$ мм, $s = 4$ мм, из меди марки МЗ: «Днище 3—500—4—МЗ ГОСТ 11972—66»

D_0	D^*	s , мм					
		2	2,5	3	4	5	6
мм		Масса, кг					
300	390	2,1	2,6	3,2	—	—	—
350	450	2,8	3,5	4,2	—	—	—
400	510	3,6	4,5	5,4	7,3	—	—
450	565	4,5	5,6	6,7	8,9	—	—
500	625	5,5	6,8	8,2	10,9	—	—
550	695	6,7	8,4	10,1	13,5	—	—
600	740	7,6	9,6	11,5	15,3	—	—
650	800	8,9	11,2	13,4	17,9	—	—
700	860	10,3	12,9	15,5	20,7	25,8	—
750	900	11,3	14,1	17,0	22,6	28,3	—

D_0	D^*	s , мм					
		2	2,5	3	4	5	6
мм		Масса, кг					
800	975	13,3	16,5	19,9	26,6	33,2	—
850	1060	15,7	19,6	23,6	31,4	39,3	47,1
900	1105	17,1	21,3	25,6	—	42,7	51,2
950	1140	—	22,7	27,3	36,3	45,4	54,5
1000	1205	—	25,4	30,4	40,6	50,7	60,9
1100	1325	—	30,7	36,8	49,0	—	—
1200	1445	—	36,5	43,8	58,4	—	—
1300	1580	—	—	50,4	67,2	—	—
1400	1680	—	—	59,2	78,9	—	—
1500	1795	—	—	67,5	90,1	—	—
1600	1910	—	—	76,5	102	128	—
1800	2150	—	—	96,9	129	162	—
2000	2520	—	—	133	178	222	—

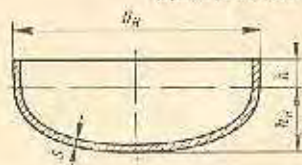
Примечания:

1. Материал днищ — листовой прокат из меди марок МЗ и МЗС.

2. Приведенные толщины стенки днищ s соответствуют только рекомендованным размерам по сортаментам на медный листовой прокат (см. гл. 3).3. Высоту днища h_0 , а также внутреннюю поверхность и емкость его V_0 и V см. в табл. 16.4.4. Диаметры заготовок D указаны без учета вытжки при штамповке и припуска на обрезку.* D — диаметр заготовки.

Днища эллиптические отбортованные из винипласта и фаяолита

Таблица 16.7



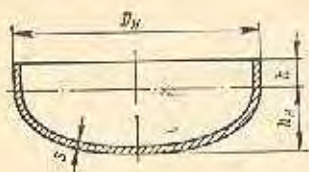
Условное обозначение днища из винипласта с $D_0 = 500$ мм:
«Днище 500 ОН 26-01-21—66»

D_0	h_0	Из винипласта					Из фаяолита				
		s	h	D^*	$V \cdot 10^3$, м ³	Масса, кг	s	h	D^*	$V \cdot 10^3$, м ³	Масса, кг
250	65	5	25	404	3,0	0,9	10	40	349	4,0	1,7
300	75	6		454	5,5	1,4			377	6,4	2,0
400	100	8	40	520	11,5	2,3	12	15	548	13,4	4,5
500	125	9		640	24,4	4,0			667	24,4	6,7
600	150	12	50	784	39,5	6,7	20	50	789	39,5	11,8
700	175	14		905	60,3	13,0			907	60,3	15,5
800	200	16	50	1025	87,2	18,0	30	50	1024	87,2	19,7
900	225	18		1143	120	23,0			—	—	—
1000	250	20	50	1264	162	32,0	30	50	1282	170	41,3
1200	300	—		1518	283	50,5			1518	283	57,9
1400	350	—	50	1753	436	68,0	30	50	1753	436	77,2
1600	400	—		—	—	—			—	—	—
1800	450	—	—	—	—	—	30	50	2000	637	151
2000	500	—	—	—	—	—	30	50	2236	891	188
									2472	1205	230

Примечания:

1. Диаметры заготовок D указаны без учета вытжки при штамповке и припуска на обрезку.2. Плотность материала при подсчете массы днищ принята: для винипласта $\rho = 1,4 \cdot 10^3$ кг/м³; для фаяолита $\rho = 1,6 \cdot 10^3$ кг/м³.3. Приведенные данные для днищ из винипласта при $D_0 \leq 1000$ мм — по ОН 26-01-21—66, при $D_0 \geq 1200$ мм, а также для всех днищ из фаяолита — по [5].* D — диаметр заготовки; V — емкость днища.

Днища отбортованные штампованные из углеродистой и низколегированной сталей для трубопроводов (по МН 2920—62)



Условное обозначение днища с $D_n = 108$ мм, $s = 5$ мм из стали марки 20:
«Днище 108×5 20 МН 2920—62»

D_n , мм		s, мм																				
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	h = 25 мм						h = 40 мм			
h _н , мм; масса m, кг																						
		h _н		h _н		h _н		h _н		h _н		h _н		h _н		h _н		h _н				
		m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m			
45	13	0,16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
57	16	0,24	—	17	0,33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
76	21	0,36	—	—	—	23	0,58	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
89	—	—	25	0,56	—	26	0,77	26	0,86	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
108	—	—	30	0,77	—	30	1,04	—	—	32	1,33	—	—	—	—	—	—	—	—			
133	—	—	36	1,1	—	37	1,5	—	—	—	—	38	2,52	—	—	—	—	—	—			
159	—	—	43	1,46	—	—	—	44	2,3	—	—	—	—	45	3,68	—	—	—	—			
194	—	—	—	—	52	2,5	—	52	3,26	—	—	—	—	—	55	5,56	—	—	—			
219	—	—	—	—	58	3,13	—	59	4,1	—	—	—	—	—	—	—	59	7,78	—			
273	—	—	—	—	—	—	72	5,32	—	73	7,38	—	—	—	—	—	74	9,9	—			
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	76	12,8		

Материал — сталь марок 20, Ст.3 и 10Г2.

Приведенная ниже методика расчета днищ на наружное давление применима для расчетных температур и условий, указанных выше, для вальцованных сварных цилиндрических обечаек.

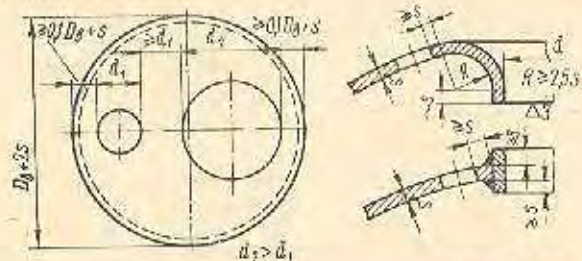


Рис. 16.3. Расположение и конструкция отверстий в эллиптических днищах

Допускаемые отклонения размеров и формы штампованных металлических эллиптических днищ приведены в табл. 16.10 и 16.11 [164].

Уменьшение толщины стенки днища в месте перехода цилиндрической части в эллиптическую допускается в пределах 10% от толщины стенки, но не более 2,5 мм.

29*

Смещение кромок элементов сварных днищ допускается в пределах 10% толщины стенки его, но не более 4 мм.

Величина припуска на обработку кромок днищ берется в зависимости от диаметра и толщины стенки днища в пределах от 10 до 40 мм.

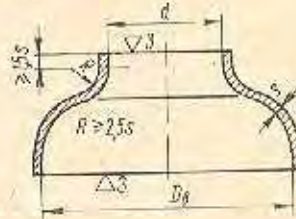
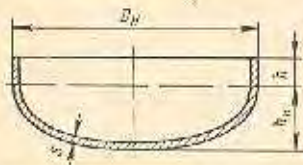


Рис. 16.4. Конструкция отверстий в эллиптических днищах при $d > 0,5D_d$

Для штампованных эллиптических днищ из неметаллических пластических материалов, можно придерживаться тех же допускаемых отклонений размеров и формы, что и для металлических.

Таблица 16.9

Днища отбортованные штампованные из легированной и высоколегированной сталей для трубопроводов
(по МН 4761—63)



Условное обозначение днища с $D_n = 108$ мм, $s = 4$ мм из стали марки Х5:
«Днище 108×4—ХМ МН 4761—63»

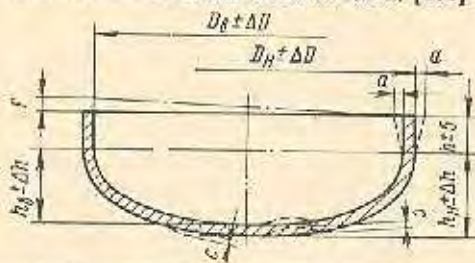
D_n , мм	s, мм																																																																																									
	2,5						3						3,5						4						4,5						5						6						7						8						9						10						11						12						14						16					
	$h = 25$ мм												$h = 40$ мм																																																																													
h_n , мм; масса m, кг																																																																																										
h_n	m	h_n	m	h_n	m	h_n	m	h_n	m	h_n	m	h_n	m	h_n	m	h_n	m	h_n	m	h_n	m	h_n	m	h_n	m	h_n	m	h_n	m	h_n	m	h_n	m	h_n	m																																																							
45	—	—	13	0,14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—																																																							
57	—	—	16	0,18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—																																																							
76	21	0,22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—																																																						
89	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—																																																						
108	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—																																																						
133	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—																																																						
159	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—																																																						
194	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—																																																						
219	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—																																																						
273	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—																																																					

Материал — сталь марок 12ХМФ, Х5, Х5М, Х5ВФ, Х8ВФ, Х8М, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т, 0Х21Н5Т, 0Х23Н18.

* $h = 40$ мм.

Таблица 16.10

Допускаемые отклонения от основных размеров штампованных эллиптических днищ [164]



$D_n (D_n)$, мм	Допуск, мм				
	ΔD	Овальность	c	f	Δh
150—250	$\pm 1,5$	В пределах допуска на диаметр	2	2	± 4
300—750	± 2				
800—1300	± 3		3	3	± 6
1400—1600	± 3				
1700—2400	± 5		4	5	± 12
2600—3000	± 5				
3200—4000	± 6	4	8	± 16	
					10	$\pm 20$

Примечание. Размеры D_n , D_n' , h_n , h_n' и h см. на рис. 16.1.

Таблица 16.11

Допуск на конусность цилиндрической части штампованных эллиптических днищ (см. рис. табл. 16.10) [164]

s, мм	a, мм	s, мм	a, мм
< 20	± 4	28—34	± 6
20—26	± 5	≥ 36	± 8

Расчет эллиптических днищ, работающих под внутренним давлением

Определение номинальной расчетной толщины стенки эллиптического днища s' , исходя из прочности, рекомендуется производить по формулам, приведенным в табл. 16.12 в зависимости от величины отношения заранее известных определяющих параметров σ_d и p с учетом коэффициента ослабления днища φ и от того, какой задан базовый диаметр D_0 или D_n .

Предлагаемый расчет в зависимости от $\frac{\sigma_d}{p} \varphi$ получен на основе соответствующего преобразования условия (гра-

Таблица 16.12

Формулы для определения номинальной расчетной толщины стенки s' металлических и неметаллических эллиптических штампованных и литых днищ, работающих под внутренним давлением

(по ОН 26-01-13-65
Н 1039-65)

$\frac{\sigma_d}{p} \varphi$	При базисом D_g , м (см)	При базисом D_n , м (см)
	Номинальная расчетная толщина стенки s' , м (см)	
$\geq 4,5$, но < 25	$s' = \frac{R_g p}{2\sigma_d \varphi - p}$ (16.1)	$s' = \frac{R_n p}{2\sigma_d \varphi}$ [*]
≥ 25	$s' = \frac{R_g p}{2\sigma_d \varphi}$ (16.3)	(16.2)

p — расчетное давление в аппарате в Мн/м^2 (кгс/см^2);
 σ_d — допускаемое напряжение на растяжение для материала днища в Мн/м^2 (кгс/см^2);
 $R_g = \frac{D_g^2}{4h_g}$ — внутренний радиус кривизны в вершине днища в м (см);
 $R_n = \frac{D_n^2}{4h_n}$ — наружный радиус кривизны в вершине днища в м (см).
 Для стандартных днищ $\frac{h_g}{D_g}$ и $\frac{h_n}{D_n} = 0,25$ и поэтому $R_g = D_g$ и $R_n = D_n$.
 φ — коэффициент ослабления днища швом или укрепленными отверстиями. Определяется аналогично цилиндрическим обечайкам.
 Данные по определению p и σ_d см. в гл. 14.
 Формулы справедливы при $\frac{h_g}{D_g}$ и $\frac{h_n}{D_n} \geq 0,2$.

* Получена из (16.1) путем подстановки $R_n = s'$ вместо R_g .

днищ) применения формулы (16.1)

$$\frac{s - C_k}{D_g} \leq 0,125. \quad (16.4)$$

Полагая в (16.4) $C_k = 0$ и подставляя значение $s = s'$ из (16.4) в (16.1), получим

$$0,125 \geq \frac{D_g p}{2\sigma_d \varphi - p},$$

или после преобразований

$$\frac{\sigma_d}{p} \varphi \geq 4,5. \quad (16.5)$$

Формулу (16.1) можно упростить в пределах допустимой погрешности расчета толщины стенки в 2% (в мень-

шую сторону), исключив из знаменателя p . В этом случае имеем

$$\frac{R_g p}{2\sigma_d \varphi - p} = 1,02 \frac{R_g p}{2\sigma_d \varphi},$$

или после преобразований

$$\frac{\sigma_d}{p} \varphi \approx 25. \quad (16.6)$$

Толщина стенки днища s с учетом прибавок определяется по формуле (15.10).

Выбор прибавок производится аналогично таковому для цилиндрических обечайек. Для штампованных днищ прибавка на утонение толщины стенки на участке перехода от цилиндрической части к эллиптической не дается, если это утонение не превышает указанного выше допуска (10% от толщины стенки). В любом случае толщина стенки днища должна быть не менее толщины стенки цилиндрической обечайки, сопрягаемой с днищем, рассчитанной по формулам табл. 15.6.

При проверочных расчетах допускаемое избыточное давление p_d в Мн/м^2 (кгс/см^2) для эллиптических днищ при соблюдении условия (16.4) определяется по формуле *

$$p_d = \frac{2\sigma_d \varphi (s - C_k)}{R_s - (s - C_k)}. \quad (16.7)$$

Пример 16.1. Определить толщину стенки верхнего стандартного отбортованного эллиптического днища для обечайки вертикального аппарата, рассчитанной в примере 15.1 (см. рис. 15.3), по следующим данным: материал днища — сталь марки Ст.3; $D_g = 2,0$ м; $h_g = 0,5$ м; в днище имеется центрально расположенное неукрепленное отверстие $d = 0,2$ м; днище сварное из двух частей, сварной шов ручной электродуговой двусторонний ($\varphi_n = 0,95$); $\sigma_d = 140 \text{ Мн/м}^2$ (1400 кгс/см^2); $p = 1 \text{ Мн/м}^2$ (10 кгс/см^2); $C_k = 1$ мм.

Определим коэффициент ослабления днища отверстием по формуле (15.14)

$$\varphi_n = \frac{D_g - d}{D_g} = \frac{2 - 0,2}{2} = 0,9.$$

Поскольку коэффициент ослабления днища отверстием φ_n меньше коэффициента сварного шва φ_n , в дальнейшем за расчетное значение коэффициента ослабления принимаем $\varphi = \varphi_n$.

Определим отношение определяющих параметров σ_d и p с учетом коэффициента φ_n

$$\frac{\sigma_d}{p} \varphi_n = \frac{140}{1} \cdot 0,9 = 126 > 25.$$

Номинальную расчетную толщину стенки днища для данного отношения согласно табл. 16.12 определяем по формуле (16.3)

$$s' = \frac{D_g p}{2\sigma_d \varphi_n} = \frac{2 \cdot 1}{2 \cdot 140 \cdot 0,9} = 7,95 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 7,95 \text{ мм}.$$

Выбираем дополнительную прибавку на округление толщины стенки (до ближайшего большего размера по сортаменту) $C_n = 1,05$ мм.

Общую прибавку к номинальной расчетной толщине стенки определяем по формуле (14.12)

$$C = C_k + C_s + C_n = 1 + 0 + 1,05 = 2,05 \text{ мм}.$$

* Формула (2), табл. 21 (ОН 26-01-13-65 Н 1039-65).

Толщину стенки днища с учетом прибавок определяем по формуле (15.10)

$$s = s' + C = 7,95 + 2,05 = 10 \text{ мм},$$

т. е. такую же толщину, как и для сопрягаемой с днищем цилиндрической обечайки.

Проверим условие (16.4)

$$\frac{s - C_{\kappa}}{D_{\delta}} = \frac{10 - 1}{2000} = 0,0045 < 0,125,$$

т. е. условие выполнено.

Допускаемое давление в днище определяем по формуле (16.7)

$$p_{\text{д}} = \frac{2\sigma_{\text{д}}\varphi(s - C_{\kappa})}{D_{\delta} + (s - C_{\kappa})} = \frac{2 \cdot 140 \cdot 0,9(10 - 1) \cdot 10^{-3}}{2,0 + (10 - 1) \cdot 10^{-3}} = 1,13 \text{ Мн/м}^2 \text{ (11,3 кгс/см}^2\text{)}.$$

Расчет эллиптических днищ, работающих под наружным давлением

Расчет таких днищ из металлических материалов рекомендуется производить следующим образом.

Толщина стенки эллиптического днища предварительно принимается равной толщине стенки сопрягаемой с ним цилиндрической обечайки, рассчитанной по приведенным в п. 15.1 формулам для обечаек, работающих под наружным давлением.

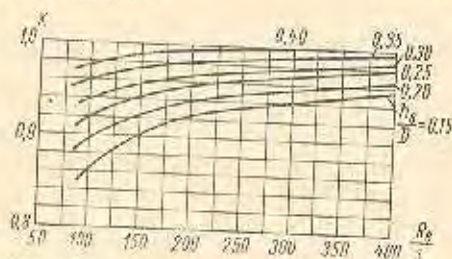


Рис. 16.5. График для определения коэффициента K в формуле (16.8)

Затем находится отношение внутреннего радиуса кривизны R_0 в вершине днища к предварительно принятой толщине стенки днища s .

В зависимости от величины этого отношения определяется допускаемое наружное давление $p_{\text{нд}}$, исходя из устойчивости днища, по формулам, приведенным в табл. 16.13.

Если допускаемое наружное давление, определенное по формулам табл. 16.13, больше или равно расчетному наружному давлению $p_{\text{н}}$, то предварительно принятая толщина стенки днища является окончательной. В противном случае толщина стенки днища должна быть соответственно увеличена.

Пример 16.2. Определить толщину стенки эллиптического днища, присоединяемого к обечайке горизонтального цилиндрического аппарата, рассчитанной в примере 15.3 (см. рис. 15.11), по следующим данным: материал днища — алюминисевый сплав марки АМгС ($E = 0,72 \cdot 10^5 \text{ Мн/м}^2$,

$$\sigma_{\text{т}} = 60 \text{ Мн/м}^2, \chi = \frac{\sigma_{\text{д}}}{\sigma_{\text{т}}} \approx 0,7, \sigma_{\text{д}} = \sigma_{\text{сд}} = 35,4 \text{ Мн/м}^2,$$

$C_{\kappa} = 1 \text{ мм}$); $D_{\delta} = 1,3$; m $h_0 = 0,325 \text{ м}$; днище стандартное без отверстий сварное из двух половин, сварной шов автоматический стыковой двусторонний ($\varphi_{\text{ш}} = 0,85$); $p = 0,314 \text{ Мн/м}^2$ (3,14 кгс/см²); $p_{\text{н}} = 0,172 \text{ Мн/м}^2$ (1,72 кгс/см²).

Формулы для определения допускаемого наружного давления для металлических эллиптических штампованных и литых днищ

(по ОН 26-01-13-65
Н 1039-65)

$\frac{R_0}{s}$	Допускаемое наружное давление $p_{\text{нд}}$ в Мн/м^2 (кгс/см ²)
$\geq \frac{0,15E^t}{\chi\sigma_{\text{т}}^t}$	$p_{\text{нд}} = 0,09E^t \left(\frac{s - C_{\kappa}}{KR_0} \right)^2$ (16.8)
$< \frac{0,15E^t}{\chi\sigma_{\text{т}}^t}$	$p_{\text{нд}} = \frac{2\sigma_{\text{сд}}(s - C_{\kappa})}{R_0\beta}$ (16.9)

E^t — модуль упругости материала днища при расчетной температуре его в Мн/м^2 (кгс/см²);

$\sigma_{\text{т}}^t$ — предел текучести материала днища при расчетной температуре его в Мн/м^2 (кгс/см²);

$\chi = \frac{\sigma_{\text{д}}}{\sigma_{\text{т}}}$ — отношение предела упругости материала

днища к пределу текучести его при расчетной температуре (для углеродистых и легированных сталей $\chi = 0,9$, для аустенитных сталей $\chi = 0,7$);

$K = f\left(\frac{h_0}{D_{\delta}}, \frac{R_0}{s}\right)$ — коэффициент. Определяется по графику рис. 16.5, значение R_0 см. в табл. 16.12;

$\sigma_{\text{сд}}$ — допускаемое напряжение на сжатие для материала днища в Мн/м^2 (кгс/см²);*

$$\beta = \frac{E^t(s - C_{\kappa}) + 5\chi\sigma_{\text{т}}^t R_0}{E^t(s - C_{\kappa}) - 6,7\chi\sigma_{\text{т}}^t R_0(1 - \chi)}$$

Формула (16.8) применима при $0,15 \leq \frac{h_0}{D_{\delta}} \leq 0,5$.

Формула (16.9) применима при $0,2 \leq \frac{h_0}{D_{\delta}} \leq 0,3$.

* Получен путем упрощения формулы (2) в табл. 23 (ОН 26-01-13-65 Н 1039-65)

$$p_{\text{нд}} = 10^{-6} E^t \left[\frac{(s - C_{\kappa}) 300}{KR_0} \right]^2$$

** Получена путем упрощения выражения (3) в табл. 23 (ОН 26-01-13-65 Н 1039-65)

$$\beta = \frac{1 + 5 \frac{\chi\sigma_{\text{т}}}{E^t} \cdot \frac{R_0}{(s - C_{\kappa})}}{1 - 6,7 \frac{\chi(1 - \chi)\sigma_{\text{т}} R_0}{E^t(s - C_{\kappa})}}$$

Производим расчет днища на внутреннее давление. Определим отношение определяющих параметров σ_d и ρ с учетом коэффициента $\varphi_{ш}$

$$\frac{\sigma_d}{\rho} \varphi_{ш} = \frac{35,4}{0,314} \cdot 0,85 = 95,8 > 25.$$

Номинальную расчетную толщину стенки днища для данного отношения согласно табл. 16.12 определяем по формуле (16.3)

$$s' = \frac{D_{об} p}{2 \sigma_{д} \varphi_{ш}} = \frac{1,3 \cdot 0,314}{2 \cdot 35,4 \cdot 0,85} = 6,8 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 6,8 \text{ мм.}$$

Толщина стенки сопрягаемой с днищем цилиндрической обечайки (см. пример 15.3) исходя из расчета ее на наружное давление $s = 10 \text{ мм} > s' = 6,8 \text{ мм}$. Предварительно принимаем толщину стенки днища равной толщине стенки обечайки $s = 10 \text{ мм}$.

Определим отношение

$$\frac{R_{с}}{s} = \frac{1,3}{0,01} = 130.$$

Определим значение

$$\frac{0,15 E^2}{\chi \sigma_T^2} = \frac{0,15 \cdot 0,72 \cdot 10^8}{0,7 \cdot 60} = 257.$$

Поскольку $\frac{R_{с}}{s} = 130 < 257$, допускаемое наружное давление для днища $p_{нд}$ определяем согласно табл. 16.3 по формуле (16.9).

Предварительно находим значение безразмерного коэффициента β

$$\beta = \frac{E^2 (s - C_{к}) + 5 \chi \sigma_T^2 R_{с}}{E^2 (s - C_{к}) - 6,7 \chi \sigma_T^2 R_{с} (1 - \chi)} = \frac{0,72 \cdot 10^8 \cdot 9 \cdot 10^{-3} + 5 \cdot 0,7 \cdot 60 \cdot 1,3}{0,72 \cdot 10^8 \cdot 9 \cdot 10^{-3} - 6,7 \cdot 0,7 \cdot 60 \cdot 1,3 \cdot 0,3} = 1,7;$$

$$p_{нд} = \frac{2 \sigma_{сд} (s - C_{к})}{R_{с} \beta} = \frac{2 \cdot 35,4 \cdot 9 \cdot 10^{-3}}{1,3 \cdot 1,7} = 0,288 \text{ Мн/м}^2 \text{ (2,88 кгс/см}^2\text{)},$$

что больше $p_{к} = 0,172 \text{ Мн/м}^2$ и, следовательно, принятая толщина стенки днища $s = 10 \text{ мм}$ является окончательной.

16.2. СФЕРИЧЕСКИЕ ДНИЩА

Форма таких днищ, применяемых в химической аппаратуре, бывает полушаровой, сферической без отбортовки и сферической с отбортовкой. Два соединенных между собой полушаровых днища образуют сосуд шаровой формы. Полушаровые днища рекомендуется применять в стальных сварных цилиндрических аппаратах больших диаметров (при $D_{с} \geq 4 \text{ м}$): горизонтального исполнения — независимо от давления в них, вертикального исполнения — в аппаратах, работающих под избыточным давлением свыше $0,07 \text{ Мн/м}^2$.

На рис. 16.6 показана типовая конструкция полушарового днища, сваренного из отдельных штампованных элементов: шарового сегмента и шаровых лепестков. Число лепестков и диаметр сегмента выбираются исходя из рационального раскроя листов, возможностей штамповки,

минимальной длины сварных швов и конструктивных соображений.

В табл. 16.14 и 16.15 приведены основные данные о нормализованных стальных полушаровых днищах. Днища с одинаковой толщиной стенки всех элементов предназначены для аппаратов, работающих под наружным давлением (при вакууме в аппарате), днища с различной толщиной стенки его элементов — для аппаратов, работающих под внутренним избыточным давлением. Указанные днища выполняются из углеродистой, низколегированной и двухслойной сталей.

В стальной сварной цилиндрической аппаратуре вертикального и горизонтального исполнения, работающей

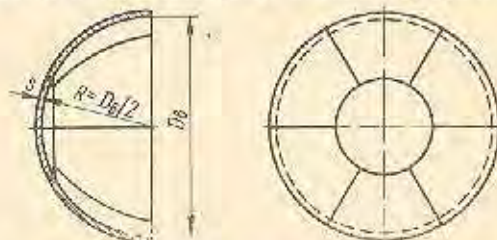


Рис. 16.6. Конструкция полушарового днища, сваренного из отдельных штампованных частей

под наливом, а также под избыточным давлением не более $0,07 \text{ Мн/м}^2$ для температур до $+200^\circ \text{С}$ можно применять сферические неотбортованные днища. Применять такие днища для избыточных давлений более $0,07 \text{ Мн/м}^2$ не допускается.

В табл. 16.16 приведены основные данные о нормализованных штампованных сферических неотбортованных днищах из углеродистой и высоколегированной сталей.

Днища, размер заготовок которых больше стандартных размеров листов, изготавливаются составными аналогично эллиптическим днищам (см. п. 16.1).

Сферические отбортованные днища в настоящее время применяются редко, они заменены эллиптическими. Вместе с тем, в ряде случаев такие днища при конструировании новой аппаратуры допускается применять, в частности, при отсутствии штампов на соответствующие эллиптические днища. При конструировании сферических днищ всех типов следует руководствоваться данными, изложенными в п. 15.3 и 16.1.

Расчет сферических днищ, работающих под внутренним давлением

Номинальная расчетная толщина стенки шаровых и сферических отбортованных днищ s' в м (см) определяется по формуле*

$$[s' = \frac{D_{об} p}{4 \sigma_{д} \varphi} y] \tag{16.10}$$

где y — коэффициент формы днища. Определяется по графику рис. 16.7.

Значение остальных величин см. в п. 16.1. Формула применима при $\frac{h_{с}}{D_{с}} \geq 0,2$ и $\frac{R_{с}}{D_{с}} \leq 1$.

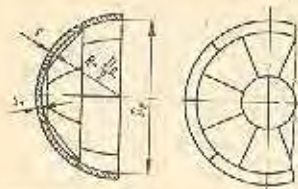
При проверочных расчетах допускаемое давление $p_{д}$ в Мн/м^2 (кгс/см^2) для шаровых и сферических отбортованных днищ определяется по формуле*

$$p_{д} = \frac{4 \sigma_{д} \varphi (s - C_{к})}{D_{об}} \tag{16.11}$$

* Формулы из табл. 24 $\left(\frac{\text{ОН 26-01-13-65}}{\text{И 1039-65}} \right)$.

Днища полусферические стальные сварные с одинаковой толщиной стенки всех элементов

(по МП 4704—63)



Условное обозначение днища с $D_s = 4,0$ м, $s = 10$ мм из стали марки 20К:
«Днище 4000-10-20К МП 4704—63»

D_s , м	$F_{в}^*$, м ²	V^* , м ³	s, мм											
			10	12	14	16	18	20	22	24	28	30	32	35
													Масса, кг	
3,6	20,3	12,2	1 607	1 930	2 255	2 580	2 905	3 232	3 559	3 887	4 511	4 874	5 205	
3,8	22,8	14,4	1 790	2 150	2 511	2 873	3 235	3 599	3 963	4 327	5 059	5 426	5 764	—
4,0	25,2	16,8	1 983	2 381	2 781	3 182	3 583	3 985	4 388	4 792	5 602	6 008	6 415	
4,5	30,9	23,9	2 509	3 010	3 518	4 024	4 531	5 038	5 547	6 057	7 079	7 591	8 104	9 133
5,0	39,5	32,7	3 095	3 715	4 340	4 964	5 589	6 215	6 842	7 470	8 728	9 359	9 991	11 258
5,5	47,5	43,6	3 744	4 496	5 249	6 003	6 758	7 514	8 272	9 030	10 551	11 313	12 075	13 605
6,0	56,6	56,6	4 454	5 348	6 244	7 140	8 038	8 937	9 838	10 739	12 546	13 451	14 357	16 173
6,4	64,8	68,6	5 066	6 084	7 102	8 121	9 142	10 165	11 188	12 213	14 266	15 294	16 324	18 388
7,0	77,3	89,8	6 059	7 275	8 493	9 711	10 932	12 153	13 376	14 601	17 053	18 282	19 512	21 976
8,0	99,2	134		9 498	11 088	12 677	14 269	15 862	17 457	19 054	22 252	23 853	25 456	28 666
9,0	128	191			14 027	16 037	18 054	20 065	22 081	24 099	28 140	30 164	32 189	36 245
10	158	262	—	—	—	19 763	22 280	24 759	27 239	29 736	34 719	37 214	39 711	44 711
11	191	349	—	—	—	—	26 944	29 949	32 956	35 965	41 990	45 003	48 023	54 065
12	227	452	—	—	—	—	—	35 631	39 207	42 786	49 950	53 538	57 124	64 307

Примечания:

1. Материал — сталь углеродистая марок Ст.3 и 20К; низколегированная марок 18ГС и 09Г2С; двухслойная марок Ст.3 + ЭИ496, 20К + ЭИ496, 12МХ + ЭИ496, Ст.3 + Х18Н10Т и 20К + Х17Н13М2Т.
2. Днища выполняются сварными из отдельных штампованных лепестков и сегментов.
3. $k' = s$.

* $F_{в}$ — внутренняя поверхность днища; V — емкость днища.

Номинальная расчетная толщина стенки сферического неотбортованного днища s' определяется из условия, что меридиональное изгибающее напряжение σ_u , возникающее

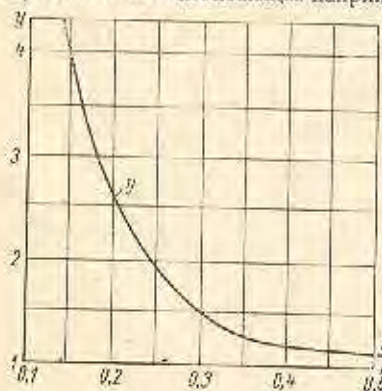


Рис. 16.7. График для определения коэффициента формы сферического днища Y в формулах (16.10) и (16.11)

в месте соединения днища с обечайкой, не должно превышать допускаемого напряжения на разрыв для материала днища, т. е. $\sigma_u \leq \sigma_{\text{д}}$. Меридиональные изгибающие напряжения не зависят от материала днища, а являются функциями D_s и s' при выбранных соотношениях размеров днищ.

В табл. 16.17 приведены меридиональные изгибающие напряжения σ_1 для днищ без усиления и σ_2 для днищ с кольцевым усилением при $p = 0,1$ Мн/м². Конструкция и относительные размеры кольцевого усиления показаны на рисунке в табл. 16.16.

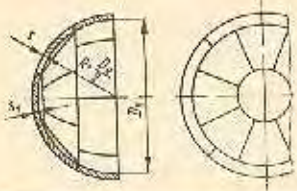
Определение номинальной расчетной толщины стенки сферического неотбортованного днища s' рекомендуется производить с помощью табл. 16.17 следующим образом.

Сначала находится условное меридиональное изгибающее напряжение σ_u в Мн/м² в месте соединения днища с обечайкой по формуле

$$\sigma_u = \sigma_{\text{дв}} \frac{0,1}{p} \quad (16.12)$$

Таблица 16.15

Днища полушаровые стальные сварные с различной толщиной стенки его элементов
(по МН 4704—83)



Условное обозначение днища с $D_n = 4,0$ м, $s = 14$ мм, $s_1 = 10$ мм из стали марки 20К:
«Днище 4000-14/10-20К МН 4704—83»
То же из двухслойной стали 20К+ЭИ496: «Днище 4000-14/10-20К | ЭИ496 МН 4704—83»

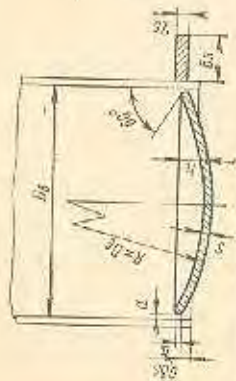
D_n , мм	Толщина стенки s , мм (сверху) для крайних лепестков, толщина стенки s_1 , мм (снизу) для сегмента и примыкающих к нему лепестков, кроме крайних									
	14 10	16 10	18 10	20 12	22 12	24 14	28 14	30 16	32 18	36 20
Масса, кг сверху для днищ из углеродистой и низколегированной сталей, снизу для днищ из двухслойной стали										
3,6	2 137 2 103	2 404 2 352	2 669 2 603	2 994 2 926	3 263 3 177	3 593 3 507	4 128 4 008	4 458 4 338	4 789 4 665	—
3,8	2 363 2 343	2 649 2 621	2 935 2 897	3 299 3 261	3 587 3 539	3 951 3 801	4 531 4 461	4 898 4 828	5 268 5 194	—
4,0	2 617 2 635	2 936 2 964	3 253 3 293	3 656 3 693	3 976 4 024	4 378 4 430	5 020 5 092	5 424 5 498	5 833 5 903	—
4,5	3 310 3 338	3 712 3 750	4 113 4 167	4 620 4 672	5 023 5 089	5 531 5 595	6 343 6 433	6 853 6 947	7 366 7 456	8 285 8 393
5,0	3 719 4 172	4 031 4 714	4 343 5 255	4 971 5 881	5 282 6 424	5 908 7 052	6 540 8 140	7 164 8 771	7 797 9 401	8 735 10 582
5,5	4 486 4 440	4 872 4 788	5 256 5 136	6 008 5 888	6 384 6 208	7 145 6 989	7 905 7 697	8 667 8 451	9 422 9 200	10 554 10 322
6,0	5 486 5 350	5 998 5 798	6 518 6 246	7 412 7 140	7 932 7 588	8 828 8 498	9 860 9 394	10 772 10 290	11 670 11 202	13 097 12 563
6,4	6 234 6 242	6 818 6 830	7 402 7 404	8 428 8 422	9 012 9 010	10 038 10 028	11 214 11 204	12 241 12 223	13 262 13 272	14 877 14 883
7,0	7 077 7 435	7 698 8 171	8 310 8 859	9 489 10 075	10 146 10 779	11 326 12 029	12 496 13 437	13 793 14 623	14 856 15 880	17 429 17 769
8,0	—	—	—	13 590 11 682	14 610 12 214	16 200 13 818	18 264 14 910	19 865 16 499	21 457 18 091	24 082 20 230
9,0	—	—	—	16 650 14 492	17 798 15 132	19 812 16 448	22 122 18 398	24 138 20 400	26 154 22 404	29 332 25 078
10	—	—	—	—	—	24 448 20 844	27 304 22 266	29 758 24 712	32 268 27 216	36 204 30 400
11	—	—	—	—	—	28 940 24 816	32 156 26 382	35 176 29 382	38 166 32 380	42 791 36 172
12	—	—	—	—	—	—	—	38 454 33 682	40 656 37 262	45 450 41 580

Примечание. Материал, внутренняя поверхность, ежкость и выполнение днищ см. в табл. 16.14.

Днища сферические неотбортованные стальные
(по НМХ 88-56 и 89-56)

Таблица 16.16

Условное обозначение днища с $D_n = 400$ мм, $s = 4$ мм из стали марка Ст.3: «Днище 400.4-Ст.3 НМХ 88-56»



D_n , мм	P_n^* , кг	D_n^* , мм	s , мм																										
			4				5				8				10				13										
			$a = 1$ мм												$a = 5$ мм														
Масса м, кг; h , мм; емкость $V \cdot 10^3$, м ³																													
		m	V	h	m	V	h	m	V	h	m	V	h	m	V	h	m	V	h										
400	0,135	416	4,2	3,3	52,5	5,2	3,25	52,0	6,23	3,2	51,5	8,3	3,1	51,0	—	—	—	—	—	—									
500	0,210	521	5,6	5,5	65,9	8,1	6,4	65,5	9,9	6,5	65,0	12,8	6,25	64,5	16,0	6,1	63,7	—	—	—									
600	0,303	624	9,5	11,4	79,4	11,5	11,2	78,7	14,3	11,1	78,2	18,7	10,9	77,9	23,4	10,7	77,2	—	—	—									
800	0,539	834	15,3	27,0	106	20,8	26,9	105	25,3	25,8	105	33,9	26,4	103	40,4	26,0	104	—	—	—									
900	0,652	936				26,6	38,3	119	32,0	38,0	119	43,1	37,5	118	54,0	37,5	118	—	—	—									
1000	0,842	1037							39,6	52,0	132	52,7	51,5	131	65,2	50,8	130	—	—	—									
1200	1,212	1245							57,1	93,7	159	76,1	89,9	158	95,0	89,0	157	—	—	—									
1400	1,650	1450							77,6	145	185	104	144	185	130	143	184	—	—	—									
1600	2,155	1660							102	217	212	135	215	212	169	213	211	—	—	—									
1800	2,727	1860							129	309	268	171	308	239	214	307	238	—	—	—									
2000	3,367	2075							159	427	266	212	422	265	263	421	264	—	—	—									
2200	4,074	2280										256	565	292	294	563	292	—	—	—									
2400	4,849	2480										304	734	319	381	731	318	—	—	—									
2600	5,690	2700										358	932	346	447	931	345	—	—	—									
2800	6,600	2900										415	1169	373	519	1165	372	—	—	—									
3000	7,576	3110										476	1435	400	595	1434	399	—	—	—									
Сталь			У, К				К				У, К				У, К														

Примечания:

1. В графе «Сталь» условный знак: У означает, что днище днищевой толщины изготавливается только из высокопрочной стали; К означает, что днище днищевой толщины изготавливается только из углеродистой стали; знак К означает, что днище днищевой толщины изготавливается только из углеродистой стали; знак У, К означает, что днище днищевой толщины изготавливается как из той, так и из другой стали.
2. Масса днища для всех толщин приведена для углеродистой стали при $\rho = 7,85 \cdot 10^3$ кг/м³. Для получения массы днища из высокопрочной стали надо умножить коэффициент 1,01.
3. Данные по днищам из углеродистой стали приведены по нормам НМХ 88-56, данные по днищам из высокопрочной стали по нормам ГМХ 89-56.
4. Приведенные толщины днищ соответствуют только рекомендуемому сортименту листовой стали (см. гл. 2).

Таблица 16.17
 Меридиональные напряжения в сферических неотбортованных днищах при $p = 0,1 \text{ Мк/м}^2$
 (по НИХ 88—56)

$D_f, \text{ мм}$	3		4		5		6		7		8		9		10		11	
	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2	σ_1	σ_2
Меридиональные напряжения в днищах без усиления $\sigma_1, \text{ Мк/м}^2$, и с кольцевым усилением $\sigma_2, \text{ Мк/м}^2$																		
400	36,5	25,2	26,5	18,0	20,0	14,0	15,8	11,0	12,8	9,1	10,8	7,7	—	—	—	—	—	—
500	50,0	35,2	35,2	25,1	28,0	19,0	22,0	15,3	17,5	12,3	14,8	10,4	12,9	9,0	10,9	7,8	—	—
600	66,0	45,3	47,5	32,5	36,0	25,0	28,0	20,0	23,0	16,0	19,2	13,5	16,8	11,3	14,0	10,0	—	—
800	100,0	74,0	72,0	50,0	54,0	37,0	42,5	30,5	35,0	25,0	28,5	20,7	25,5	17,2	22,0	15,0	—	—
900	118,0	85,0	86,0	57,5	64,0	44,8	50,5	35,2	42,0	29,0	34,5	24,5	30,0	20,8	25,5	17,8	—	—
1000	—	—	100	70,0	75,0	52,5	59,0	44,0	48,0	34,0	40,0	28,0	35,0	24,5	29,0	22,0	—	—
1200	—	—	131	90,0	99,0	65,8	78,0	54,5	69,0	44,5	53,0	37,5	46,0	33,0	39,0	27,5	34,0	23,5
1400	—	—	160	114	120	87,0	96,0	70,0	80,0	56,5	66,0	47,0	57,0	40,0	48,0	35,0	42,0	30,0
1600	—	—	200	137	150	104	113	87,0	95,0	66,5	80,0	55,5	69,0	47,0	59,0	41,0	51,0	35,5
1800	—	—	240	162	178	121	139	98,0	112	80,0	90,0	66,0	83,0	56,0	70,0	49,0	60,0	42,5
2000	—	—	—	190	210	142	162	112	132	98,0	110	77,0	97,0	70,0	88,0	57,0	71,0	49,0
2200	—	—	—	—	240	165	190	130	153	107	129	90,0	110	83,0	95,0	65,0	83,0	56,0
2400	—	—	—	—	—	—	215	149	172	118	143	100	123	85,0	103	73,0	94,0	67,0
2600	—	—	—	—	—	—	235	168	198	132	160	111	140	95,0	119	83,0	102	73,0
2800	—	—	—	—	—	—	—	190	220	150	180	123	156	108	132	93,0	113	81,0
3000	—	—	—	—	—	—	—	210	250	170	220	142	173	120	150	104	130	90,0

* Меридиональные напряжения σ_1 и σ_2 приведены для номинальной расчетной толщины стенок днища s^* без учета прибавок на коррозию и др.

Затем номинальная расчетная толщина стенки s' подбирается по табл. 16.17 в зависимости от D_0 и σ_y при условии $\sigma_y \geq \sigma_1$ (для днищ без усиления) и $\sigma_y \geq \sigma_2$ (для днищ с кольцевым усилением).

Толщина стенки s с учетом прибавок для сферических днищ всех типов определяется по формуле (15.10).

Пример 16.3. Определить толщину стенки сферических неотбортованных днищ вертикального сварного аппарата, работающего под внутренним давлением, по следующим данным (рис. 16.8): материал днищ — сталь марки Ст.3; $C_k = 1$ мм; среда — жидкость ($\rho_{жл} = 1,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$) — газ; $p = 0,06 \text{ МПа/м}^2$ ($0,6 \text{ кгс/см}^2$); $t_0 = 20^\circ \text{C}$; $D_0 = 2,4 \text{ м}$; $H = 4,5 \text{ м}$; $s = 6 \text{ мм}$; $R = D_0$; нижнее днище с кольцевым усилением; $\sigma_{ад} = 140 \text{ МПа/м}^2$ (1400 кгс/см^2).

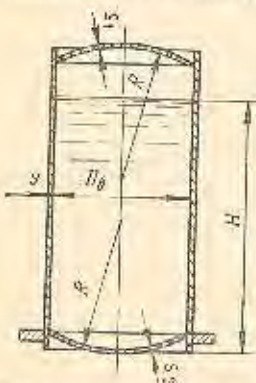


Рис. 16.8. К примеру 16.3

Толщину стенки с учетом прибавок C_k и C_0 определяем по формуле (15.10) и табл. 16.16

$$s_1 = s'_1 + C_k + C_0 = 6 + 1 + 1 = 8 \text{ мм.}$$

Производим расчет нижнего днища. Расчетное давление в нижней части аппарата с учетом гидростатического давления определяем по формуле (14.1)

$$p = p_0 + \rho_{жл} H_{жл} 10^{-6} = 0,06 + 9,81 \cdot 1,2 \cdot 10^3 \cdot 4,5 \cdot 10^{-6} = 0,114 \text{ МПа/м}^2 \text{ (1,14 кгс/см}^2\text{)}.$$

Условное меридиональное изгибающее напряжение в месте соединения днища с обечайкой определяем по формуле (16.12)

$$\sigma_y = \sigma_{ад} \frac{0,1}{p} = 140 \frac{0,1}{0,114} = 123 \text{ МПа/м}^2 \text{ (1230 кгс/см}^2\text{)}.$$

Номинальную расчетную толщину стенки днища для $D_0 = 2,4 \text{ м}$ при $\sigma_y = 123 \text{ МПа/м}^2$ выбираем по табл. 16.17 для ближайшего меньшего значения $\sigma_2 = 118 \text{ МПа/м}^2$ — $s'_2 = 7 \text{ мм}$.

Толщину стенки с учетом прибавки C_k (при $C_0 = 0$) определяем по формуле (15.10) и табл. 16.16

$$s_2 = s'_2 + C_k = 7 + 1 = 8 \text{ мм.}$$

Расчет сферических днищ, работающих под наружным давлением

Номинальная расчетная толщина стенки полушаровых днищ определяется по формуле (15.109). При проверочных расчетах допускаемое наружное давление для таких днищ определяется по формуле (15.110).

Номинальная расчетная толщина стенки сферических отбортованных днищ s' в м (см) на условия их устойчивости определяется по формуле*

$$s' = 3,34 R_0 \sqrt{\frac{p_n}{E^t}}, \quad (16.13)$$

где R_0 — внутренний радиус сферы в вершине днища в м (см).

Допускаемое наружное давление $p_{нд}$ в МПа/м^2 (кгс/см^2) для таких днищ определяется по формуле**

$$p_{нд} = 0,09 E^t \left(\frac{s - C_k}{R_0} \right)^2. \quad (16.14)$$

Формулы (16.13) и (16.14) применимы при условии (ОН 26-01-13-65)

$$\frac{0,12 E^t}{\sigma_y^t} < \frac{R_0}{s} \leq 400. \quad (16.15)$$

Толщина стенки днищ с учетом прибавок определяется по формуле (15.10). В любом случае толщина стенки сферического днища должна быть не менее толщины стенки сопрягаемой с ним цилиндрической обечайки.

16.3. КОНИЧЕСКИЕ ДНИЩА

Конические днища независимо от давления применяются главным образом в вертикальных цилиндрических (сварных, кованных и литых) аппаратах, в нижней части их, в тех случаях, когда это обусловлено технологическим процессом, исключаящим применение эллиптических или плоских днищ (преимущественно для жидких сред, сыпучих и кусковых материалов при необходимости непрерывного или периодического полного удаления содержимого из аппарата через нижний штуцер и т. п.).

В горизонтальных аппаратах, работающих под наливом и избыточным давлением до $0,07 \text{ МПа/м}^2$, при $D_0 \gg > 1500 \text{ мм}$ целесообразно применять также конические неотбортованные днища с большим углом при вершине (140°) вместо неотбортованных сферических и плоских днищ.

Конструктивно конические днища сходны с коническими обечайками. Угол конуса при вершине в днищах обычно принимается 60 или 90° , в отдельных случаях — до 150° .

Угол 60° рекомендуется применять для вязких жидкостей и суспензий, а также влажных, склонных к налипаниям порошкообразных и кусковых материалов; угол 90° — для невязких жидкостей и сухих порошкообразных и кусковых материалов.

В табл. 16.18–16.22 приведены основные данные о стандартизованных конических отбортованных днищах из углеродистой, легированной и двухслойной стали для сварной аппаратуры, работающей под избыточным давлением более $0,07 \text{ МПа/м}^2$. Технология изготовления таких

* Получена путем упрощения формулы (1) в табл. 25 (ОН 26-01-13-65) Н 1039-65

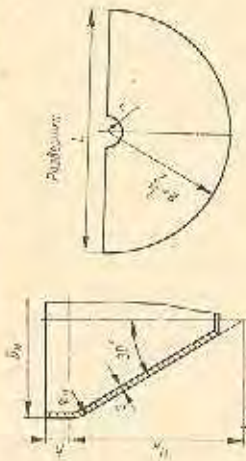
$$s' = \frac{R_0}{300} \sqrt{\frac{p_n}{10^{-6} E^t}}$$

** Получена путем упрощения формулы (2) в табл. 25 (ОН 26-01-13-65) Н 1039-65

$$p_{нд} = 10^{-6} E^t \left[\frac{(s - C_k) 300}{R_0} \right]^2$$

Днища конические отбортованные с углом при вершине 60° стальные с наружными базовыми размерами (по ГОСТу 12619—67)

Таблица 16.19



Условные обозначения днища с $D_{н} = 530$ мм, $s = 4$ мм из стали марки 15ГС: единице 530X4—15ГС ГОСТ 12619—67*

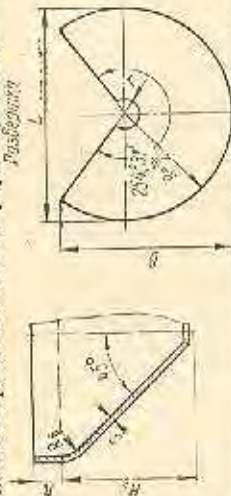
$D_{н}$	$H_{н}$	$R_{н}$	s, мм																
			4		6		8		10		12		14						
мм			$h = 40$ мм		$h = 50$ мм														
			Масса, кг	$V \cdot 10^3, \text{мм}^3$	L, мм	$P \cdot 10^3, \text{кг}$	Масса, кг	$V \cdot 10^3, \text{мм}^3$	L, мм	$P \cdot 10^3, \text{кг}$	Масса, кг	$V \cdot 10^3, \text{мм}^3$	L, мм	$P \cdot 10^3, \text{кг}$	Масса, кг	$V \cdot 10^3, \text{мм}^3$	L, мм	$P \cdot 10^3, \text{кг}$	
273	247	40	5,0	7,0	633	0,15	7,3	629	0,14	6	9,7	645	0,15	7	12,7	640	0,14	7	15,1
325	293	45	6,8	11	738	0,20	10,0	734	0,20	11	13,2	749	0,20	12	17,2	745	0,20	11	20,3
377	340	50	8,8	17	843	0,27	13,0	839	0,26	16	17,2	854	0,27	17	22,3	860	0,26	16	25,6
426	384	60	11,1	27	948	0,34	15,5	944	0,33	23	21,8	959	0,34	25	28,2	965	0,33	23	33,5
530	478	75	16,7	45	1164	0,51	24,9	1158	0,50	43	32,8	1175	0,51	46	42,2	1170	0,50	45	50,3
630	569	90	23,1	74	1371	0,72	34,5	1366	0,71	71	45,7	1382	0,72	78	58,4	1378	0,71	76	69,8
720	661	105	—	—	1559	0,93	44,6	1556	0,92	105	59,2	1571	0,93	115	75,5	1566	0,92	113	90,1
920	832	135	—	—	1975	1,50	71,6	1971	1,50	215	95,1	1986	1,50	237	121	1981	1,48	233	144
1020	922	150	—	—	2182	1,83	94,5	2178	1,82	290	116	2194	1,83	321	147	2189	1,82	317	176

Примечания:

1. Материал — сталь углеродистая, легированная и двучелюстная.
2. Размеры L указаны без учета выточки при отбортовке и привулка на обрешку.
3. Радиус r в заготовке определяется диаметром привариваемого к днищу штуцера.
4. Масса днищ подсчитана для углеродистой стали при $\rho = 7,85 \cdot 10^3$ кг/м³. Для получения массы днищ из высоколегированной стали надлежит применить коэффициент 1,02.

* P_2 — внутренняя поверхность днища; V — емкость днища (при $r = 0$).

Днища конические отбортованные сном упр. вершине 90° стальные с внутренними базовыми размерами (по ГОСТу 12621—67)



Условное обозначение днища с $D_d = 600$ мм, $s = 10$ мм из стали марки 16ГС: ϕ Днище 600×10—16ГС ГОСТ 12621—67*

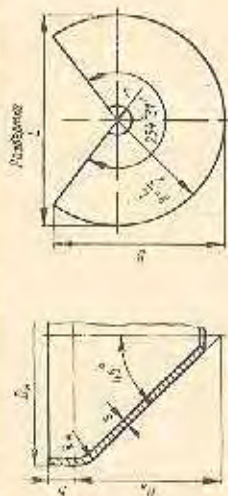
D_d	H_0 , мм										s , мм										$n = 50$ мм															
	40		50		60		80		100		12		14		16		18		20			22		24		26		28		30						
	F_0^* , кг ²		$V \cdot 10^3$, м ³		L , мм		B , мм		L , мм		B , мм		L , мм		B , мм		L , мм		B , мм			L , мм		B , мм		L , мм		B , мм		L , мм		B , мм				
400	224	0,27	0,38	15	18	706	730	566	588	8,5	13,2	17,5	23,6	28,3	34,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
(450)	252	0,33	—	23	—	782	—	627	—	10,7	16,0	—	—	—	—	56,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
500	280	0,40	0,42	30	32	839	887	689	695	13,5	19,3	25,9	33,0	41,4	48,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
(550)	308	0,47	—	39	—	934	—	750	—	15,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
600	336	0,55	0,58	50	53	1012	1036	812	830	17,6	23,9	30,0	47,1	55,5	67,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
(650)	364	0,64	—	62	—	1088	—	873	—	20,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
700	392	0,74	0,76	76	80	1164	1188	934	953	23,2	31,3	47,4	62,0	75,4	83,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
800	448	0,94	0,94	110	—	1317	1339	1058	1074	29,9	45,2	60,8	78,3	95,0	111	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
900	504	1,18	1,21	155	161	1468	1493	1177	1197	37,4	56,5	76,0	98,1	118	139	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
1000	560	1,44	1,48	209	217	1621	1645	1300	1319	—	68,8	92,3	119	143	168	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
(1100)	616	1,73	—	275	—	1776	—	1421	—	82,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1200	672	2,06	2,09	362	364	1926	1950	1545	1564	—	113	131	167	202	236	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
(1300)	728	2,40	—	444	—	2079	—	1669	—	118	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1400	784	2,71	2,80	549	565	2231	2255	1789	1808	—	149	175	224	269	315	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
(1500)	840	3,14	—	671	—	2384	—	1912	—	113	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
1600	896	3,55	3,61	809	829	2536	2560	2034	2053	—	169	226	286	347	405	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
(1700)	952	3,92	—	964	—	2689	—	2152	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1800	1008	4,46	4,53	1113	1164	2840	2865	2278	2298	—	254	361	400	442	531	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(1900)	1064	4,97	—	1333	—	2993	—	2400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2000	1120	5,48	5,56	1547	1579	3145	3170	2522	2542	—	238	348	400	442	531	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2200	1232	—	6,68	—	2081	—	3475	—	2782	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2400	1344	—	7,92	—	2683	—	3779	—	3031	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2600	1456	—	9,24	—	3389	—	4084	—	3275	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2800	1568	—	10,7	—	4210	—	4397	—	3522	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
(3000)	1680	—	12,2	—	5150	—	4679	—	3768	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Примечания:

1. Диаметр — сталь углеродистая, легированная и двухслойная.
 2. Диаметр D_0 поставленные в скобки, предусмотрены для рубашек.
 3. Размеры L и B указаны без учета выточки при отбортовке и трюиска на образку в привалены только для толщины 8 и 10 мм. Для других толщин величины L и B следует определять с помощью табл. 16.22.
 4. Радиус отбортовки R_0 см. в табл. 15.18.
 5. Радиус r в заголовке определяется диаметром приваленного к днищу шпунта.
 6. Масса днища подсказана для углеродистой стали при $\rho = 7,85 \cdot 10^3$ кг/м³. Для получения масс днища на высоколегированной стали надлежит применить коэффициент 1,01.
- * F_0 — внутренняя поверхность днища; V — емкость днища (при $r = 0$).

Таблица 16.21

Днища конические отбортованные с углом при вершине 90°: стальные с наружными базовыми размерами (по ГОСТу 12621—67)



Условное обозначение: днища с $D_n = 530$ мм, $s = 4$ мм из стали марки 16ГС; Днище 530×4—16ГС ГОСТ 12621—67*

D_k	D_n	s, мм																																										
		4				6				8				10				12				14																						
		$V \cdot 10^3, \text{м}^3$		Масса, кг	$F_g \cdot 10^3, \text{кг}$	мм		Масса, кг	$V \cdot 10^3, \text{м}^3$	$F_g \cdot 10^3, \text{кг}$	мм		Масса, кг	$V \cdot 10^3, \text{м}^3$	$F_g \cdot 10^3, \text{кг}$	мм		Масса, кг	$V \cdot 10^3, \text{м}^3$	$F_g \cdot 10^3, \text{кг}$	мм		Масса, кг	$V \cdot 10^3, \text{м}^3$	$F_g \cdot 10^3, \text{кг}$																			
273	153	0,13	5	4,2	0,12	5	6,1	0,12	5	8,0	478	383	494	396	0,12	5	10,8	0,12	5	12,6	0,12	5	14,5	0,12	5	16,3	0,16	7	19,3	0,20	12	24,8	0,23	17	31,4	0,40	31	46,8	0,55	52	64,5	0,72	76	83,4
325	181	0,17	9	5,6	0,17	8	8,2	0,16	8	10,7	553	444	539	456	0,17	8	14,2	0,16	8	16,8	0,16	8	19,3	0,20	12	24,8	0,23	17	27,3	0,23	17	31,4	0,40	31	46,8	0,55	52	64,5	0,72	76	83,4			
377	209	0,22	13	7,1	0,21	12	10,5	0,21	11	13,9	628	504	643	515	0,22	13	18,2	0,21	12	21,5	0,20	12	24,8	0,23	17	27,3	0,23	17	31,4	0,40	31	46,8	0,55	52	64,5	0,72	76	83,4						
426	238	0,28	18	9,0	0,27	18	13,3	0,27	17	17,6	707	567	722	579	0,28	18	22,9	0,27	17	27,3	0,23	17	31,4	0,23	17	31,4	0,40	31	46,8	0,55	52	64,5	0,72	76	83,4									
530	296	0,42	33	13,4	0,41	32	19,9	0,40	32	26,2	864	693	880	705	0,41	32	34,0	0,40	32	40,5	0,40	32	46,8	0,55	52	64,5	0,72	76	83,4	1,16	154	133	1,42	209	162									
530	352	0,58	54	18,5	0,57	53	27,4	0,56	52	35,4	1017	816	1032	828	0,57	54	46,8	0,56	53	55,9	0,55	52	64,5	0,72	76	83,4	1,16	154	133	1,42	209	162												
720	393	—	—	—	0,74	77	33,5	0,73	75	47,0	1156	927	1172	940	0,74	79	60,4	0,73	77	72,0	0,72	76	83,4	1,16	154	133	1,42	209	162															
920	515	—	—	—	1,18	157	55,6	1,17	155	75,2	1462	1172	1477	1184	1,19	159	95,9	1,17	157	114	1,16	154	133	1,42	209	162																		
1020	572	—	—	—	1,44	212	69,0	1,43	200	91,5	1613	1294	1630	1307	1,45	214	117	1,44	212	139	1,42	209	162																					

Примечания:

1. Материал — сталь углеродистая, легированная и др. по заказу.

2. Размеры L и B указаны без учета выточки при отбортовке и контурика на обрешку в приваде только для толщин 8 и 10 мм. Для других толщин размеры L и B следует определять по табл. 16.22.

3. Радиус отбортовки R, см, в табл. 16.19.

4. Радиус r заложен определяется диаметром привариваемого к днищу штуцера.

5. Масса днищ построена для углеродистой стали при $\rho = 7,85 \cdot 10^3$ кг/м³. Для получения массы днищ из высоколегированной стали необходимо привести коэффициент 1,05.* F_g — внутренняя поверхность днища; V — емкость днища (при $r = 0$).

Таблица 16.22

Продолжение табл. 16.22

Размеры разверток стальных конических отбортованных днищ (к табл. 16.18, 16.20 и 16.21)

Толщина стенки днища s , мм	Угол при вершине конуса				
	60°		90°		
	Размеры разверток, мм				
	для днищ с внутренними базовыми размерами			для днищ с наружными базовыми размерами	
	L'	L'	B'	L'	B'
4	$L-12$	$L-7$	$B-6$	$L+7$	$B+6$
6	$L-6$	$L-4$	$B-3$	$L+4$	$B+3$
8	L^*	L^*	B^*	L^*	B^*
10	L^{**}	L^{**}	B^{**}	L^{**}	B^{**}
12	$L+5$	$L+4$	$B+3$	$L-5$	$B-3$
14	$L+10$	$L+8$	$B+7$	$L-9$	$B-7$
16	$L+17$	$L+12$	$B+10$		
18	$L+23$	$L+15$	$B+13$		

Толщина стенки днища s , мм	Угол при вершине конуса				
	60°		90°		
	Размеры разверток, мм				
	для днищ с внутренними базовыми размерами			для днищ с наружными базовыми размерами	
	L'	L'	B'	L'	B'
20	$L+29$	$L+20$	$B+16$		
22	$L+34$	$L+24$	$B+19$		
24	$L+39$	$L+27$	$B+22$		
26	$L+44$	$L+30$	$B+25$		
28	$L+49$	$L+33$	$B+27$		
30	$L+54$	$L+37$	$B+30$		

* Значения L и B при $s < 8$ мм берутся соответственно по табл. 16.18, 16.20 и 16.21 для $s = 6$ мм и соответствующих D_0 или D_H .

** Значения L и B при $s \geq 10$ мм берутся соответственно по табл. 16.18, 16.20 и 16.21 для $s = 10$ мм и соответствующих D_0 или D_H .

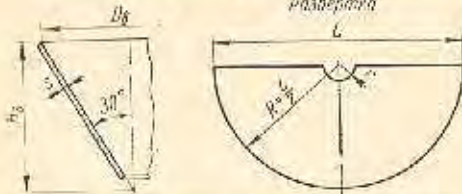
днищ — вальцовка с последующей отбортовкой большого диаметра конуса под цилиндр.

В табл. 16.23—16.29 приведены основные данные о стандартизованных конических неотбортованных днищ

из углеродистой, легированной и двухслойной стали для сварной аппаратуры, работающей под наливом или избыточным давлением не более $0,07 \text{ МПа}$. Технология изготовления таких днищ также вальцовка.

Таблица 16.23

Днища конические неотбортованные с углом при вершине 60° стальные с внутренними базовыми размерами (по ГОСТу 12620—67)



Условное обозначение днища с $D_0 = 600$ мм, $s = 6$ мм из стали марки 16ГС: «Днище 600×6—16ГС ГОСТ 12620—67»

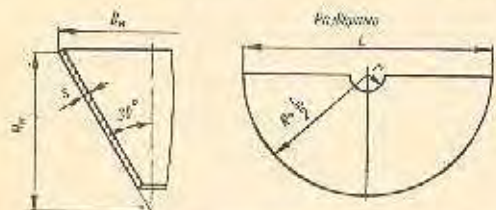
D_0	H_0	$F_{0.2}^*$, МПа	γ^* , 10 ³ , МПа	s , мм																
				4		6		8		10		12								
				L , мм	Масса кг	L , мм	Масса кг	L , мм	Масса кг	L , мм	Масса кг	L , мм	Масса кг							
400	346	0,25	15	807	7,8															
500	433	0,39	28	1007	12,6	1010	18,8													
600	520	0,56	49	1207	17,9	1210	26,8													
700	606	0,76	78	1407	24,2	1410	36,7	1414	49,0											
800	692	1,02	116	1607	31,8	1610	47,8	1614	64,3											
900	779	1,26	165	1807	39,9	1810	60,3	1814	80,4											
1000	866	1,56	227			2010	74,4	2014	89,2											
1200	1039	2,25	392			2410	106	2414	143											
1400	1212	3,06	623			2810	145	2814	194											
1600	1386	3,99	929			3210	189	3214	253											
1800	1559	5,05	1323					3614	320											
2000	1732	6,24	1815					4014	394											

D _о	H _о	F _о [*] , м ²	V [*] ·10 ³ , м ³	s, мм									
				4		6		8		10		12	
				L, мм	Масса кг	L, мм	Масса кг	L, мм	Масса кг	L, мм	Масса кг	L, мм	Масса кг
2200	1905	7,55	2416							4417	597	4421	718
2400	2078	8,99	3136							4817	710	4821	853
2600	2252	10,6	3988							5217	833	5221	1001
2800	2425	12,2	4981									5621	1161
3000	2598	14,0	6126									6021	1332

Примечания:
 1. Материал — сталь углеродистая, легированная и двухслойная.
 2. Размеры L указаны без учета припуска на обрезку.
 3. Радиус r в заготовке определяется диаметром привариваемого к днцу штуцера.
 4. Масса дниц подсчитана для углеродистой стали при $\rho = 7,85 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Для получения массы дниц из высоколегированной стали надлежит применить коэффициент 1,01.

* F_о — внутренняя поверхность дница; V — емкость дница (при r = 0).

Днища конические неотбортованные с углом при вершине 60° стальные с наружными базовыми размерами (по ГОСТу 12620—67) Таблица 16.24



Условное обозначение дница с D_н = 530 мм, s = 4 мм из стали марки 16ГС: «Днище 530×4—16ГС ГОСТ 12620—67»

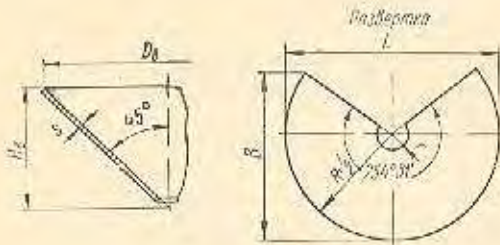
D _н	H _н	s, мм											
		4				6				8			
		L	F _о [*] , м ²	V [*] ·10 ³ , м ³	Масса кг	L, мм	F _о [*] , м ²	V [*] ·10 ³ , м ³	Масса кг	L, мм	F _о [*] , м ²	V [*] ·10 ³ , м ³	Масса кг
273	236	539	0,11	4	3,4								
325	281	643	0,16	7	5,0								
377	326	747	0,21	12	6,9								
426	369	845	0,27	17	8,8								
530	459	1053	0,43	32	13,6	1058	0,42	32	20,2				
630	546	1253	0,60	55	19,2	1253	0,60	54	28,7				
720	624					1430	0,78	81	37,7	1426	0,78	80	49,6
920	797					1830	1,29	171	61,7	1826	1,28	169	81,6
1020	883					2030	1,59	233	75,8	2026	1,58	231	101

Примечания:
 1. Материал — сталь углеродистая, легированная и двухслойная.
 2. Размеры L указаны без учета припуска на обрезку.
 3. Радиус r в заготовке определяется диаметром привариваемого к днцу штуцера.
 4. Масса дниц подсчитана для углеродистой стали при $\rho = 7,85 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Для получения массы дниц из высоколегированной стали надлежит применить коэффициент 1,01.

* F_о — внутренняя поверхность дница; V — емкость дница (при r = 0).

Таблица 16.25

Днища конические неотбортованные с углом при вершине 90° стальные с внутренними базовыми размерами (по ГОСТу 12622—67)



Условное обозначение днища с $D_в = 600$ мм, $s = 10$ мм из стали марки 16ГС: «Днища 600×10—16ГС ГОСТ 12622—67»

$D_в$	$H_в$	$F_{в}^*$, м ²	V^* , 10 ⁴ м ³	мм														
				4			6			8			10			12		
				L	B	Масса кг	L	B	Масса кг	L	B	Масса кг	L	B	Масса кг	L	B	Масса кг
400	200	0,18	8	570	457	5,6	—			—			—			—		
500	250	0,28	16	711	570	8,8	713	572	13,2	—			—			—		
600	300	0,40	28	852	683	12,9	854	685	19,3	—			—			—		
700	350	0,55	45	994	797	17,3	996	799	26,4	998	800	35,2	—			—		
800	400	0,71	67	1136	911	22,6	1137	912	33,8	1139	913	45,3	—			—		
900	450	0,91	96	1277	1024	28,6	1278	1025	42,9	1280	1026	57,8	—			—		
1000	500	1,12	131	—			1420	1139	53,2	1422	1140	71,0	—			—		
1200	600	1,61	226	—			1703	1366	76,3	1706	1367	102	—			—		
1400	700	2,20	360	—			1986	1593	104	1988	1594	139	—			—		
1600	800	2,86	536	—			2268	1819	136	2270	1820	181	—			—		
1800	900	3,63	763	—			—			2553	2048	229	2555	2049	287	—		
2000	1000	4,48	1048	—			—			2836	2274	283	2838	2276	354	—		
2200	1100	5,42	1395	—			—			—			3121	2503	428	3123	2505	514
2400	1200	6,45	1811	—			—			—			3404	2730	510	3406	2732	612
2600	1300	7,56	2302	—			—			—			3696	2956	597	3688	2958	718
2800	1400	8,78	2876	—			—			—			—			3971	3185	832
3000	1500	10,1	3537	—			—			—			—			4254	3412	954

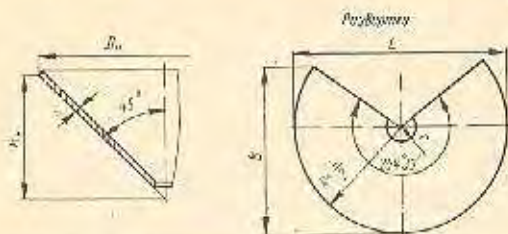
Примечания:

1. Материал — сталь углеродистая, легированная и двухслойная.
2. Размеры L и B указаны без учета припуска на резку.
3. Радиус r в заготовке определяется диаметром привариваемого к днищу штуцера.
4. Масса днищ подсчитана для углеродистой стали при $\rho = 7,85 \cdot 10^4$ кг/м³. Для получения массы днищ из высоколегированной стали надлежит применить коэффициент 1,01.

* $F_{в}$ — внутренняя поверхность днища; V — емкость днища (при r = 0).

Таблица 16.26

Днища конические неотбортованные с углом при вершине 90° стальные с наружными базовыми размерами (по ГОСТу 12622—67)



Условное обозначение днища с $D_n = 530$ мм, $s = 4$ мм из стали марки 16ГС: «Днище 530×4—16ГС ГОСТ 12622—67»

D_n	H_n	s , мм														
		4					6					8				
		L	B	$F_{в}^*$, м ²	V^* , 10 ³ м ³	Масса кг	L	B	$F_{в}^*$, м ²	V^* , 10 ³ м ³	Масса кг	L	B	$F_{в}^*$, м ²	V^* , 10 ³ м ³	Масса кг
мм					мм					мм						
273	136,5	382	306	0,08	3	2,5										
325	162,5	456	366	0,11	4	3,8										
377	188,5	529	424	0,15	7	5,0										
426	213	598	480	0,20	9	6,3										
530	265	745	597	0,31	19	9,7	743	596	0,30	19	14,6					
630	315	887	711	0,44	32	13,8	885	710	0,43	31	20,7					
720	360						1012	812	0,57	49	26,8	1010	810	0,56	47	35,8
920	460						1295	1038	0,93	99	44,3	1293	1037	0,92	98	59,0
1020	510						1436	1152	1,14	136	54,2	1434	1150	1,14	132	72,2

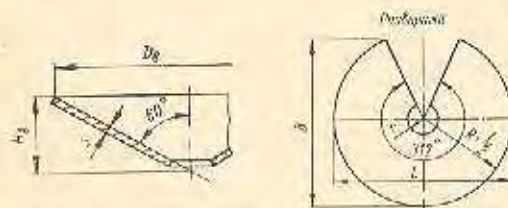
Примечания:

1. Материал — сталь углеродистая, легированная и двухслойная.
2. Размеры L и B указаны без учета припуска на обработку.
3. Радиус r в заготовке определяется диаметром привариваемого к днищу штуцера.
4. Массы днищ подсчитаны для углеродистой стали при $\rho = 7,85 \cdot 10^3$ кг/м³. Для получения массы днищ из высоколегированной стали надлежит применить коэффициент 1,01.

* $F_{в}$ — внутренняя поверхность днища; V — емкость днища (при $r = 0$).

Таблица 16.27

Днища конические неотбортованные с углом при вершине 120° стальные с внутренними базовыми размерами (по ГОСТу 12623—67)



Условное обозначение днища с $D_n = 600$ мм, $s = 6$ мм из стали марки 16ГС: «Днище 600×6—16ГС ГОСТ 12623—67»

D_n	H_n	$F_{в}^*$, м ²	V^* , 10 ³ м ³	s , мм														
				4			6			8			10			12		
				L	B	Масса кг	L	B	Масса кг	L	B	Масса кг	L	B	Масса кг	L	B	Масса кг
мм				мм			мм			мм			мм					
400	115	0,14	5	464	444	4,7												
500	144	0,23	9	579	554	7,2	580	554	10,8									
600	173	0,32	16	695	664	10,4	696	665	15,5									
700	202	0,44	26	810	774	14,1	811	775	21,2	812	776	28,3						
800	230	0,58	39	926	885	18,3	927	886	27,6	928	887	36,9						

D_R	H_R	F_{θ}^* , кг	V^* , 10 ³ , м ³	s, мм														
				4			6			8			10			12		
				L	B	Масса, кг	L	B	Масса, кг	L	B	Масса, кг	L	B	Масса, кг	L	B	Масса, кг
мм		мм		мм		мм		мм		мм		мм		мм				
900	259	0,73	55		1042	996	34,8	1043	997	46,5								
1000	288	0,90	75		1157	1106	42,9	1159	1108	57,1								
1200	346	1,30	130		1388	1327	61,7	1389	1328	82,3								
1400	403	1,78	207		1619	1548	83,8	1620	1549	119								
1600	461	2,32	309					1851	1770	146								
1800	518	2,93	439								2083	1991	232					
2000	576	3,62	603								2314	2212	286					
2200	634	4,38	803											12546	12434	415		
2400	691	5,22	1042											2776	2654	494		
2600	749	6,12	1325											3007	2875	579		
2800	806	7,10	1654											3238	3096	672		

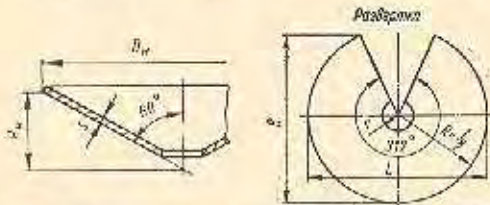
Примечания:

1. Материал — сталь углеродистая, легированная и двухслойная.
2. Размеры L и B указаны без учета припуска на обрезку.
3. Радиус r в заготовке определяется диаметром привариваемого к днищу штуцера.
4. Масса днищ подсчитана для углеродистой стали при $\rho = 7,85 \cdot 10^3$ кг/м³. Для получения массы днищ из высоколегированной стали надлежит применить коэффициент 1,01.
5. В таблице приведены данные только для рекомендуемых толщин стенок.

* F_{θ} — внутренняя поверхность днища; V — емкость днища (при r = 0).

Таблица 16.28

Днища конические неотбортованные с углом при вершине 120° стальные с наружными базовыми размерами (по ГОСТу 12623—67)



Условное обозначение днища с $D_R = 530$ мм, s = 4 мм из стали марки 161Х: «Днище 530×4—161Х. ГОСТ 12623—67»

D_R	H_R	s, мм									
		4					6				
		L	B	F_{θ}^* , кг	V^* , 10 ³ , м ³	Масса, кг	L	B	F_{θ}^* , кг	V^* , 10 ³ , м ³	Масса, кг
мм		мм		мм		мм		мм		мм	
273	79	313	297	0,067	2	2,1					
325	94	373	357	0,094	3	3,0					
377	109	433	411	0,128	4	4,0					
426	123	489	468	0,162	6	5,1					
530	153	609	582	0,252	11	7,9	608	581	0,252	10	11,9
630	181	725	693	0,358	18	11,2	724	692	0,358	17	16,8
720	207	828	790	0,466	28	14,6	827	791	0,466	27	22,0
920	265	1059	1010	0,763	58	24,0	1058	1011	0,762	57	35,9
1020	294	1175	1125	0,938	77	29,4	1174	1122	0,937	76	44,2

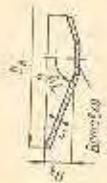
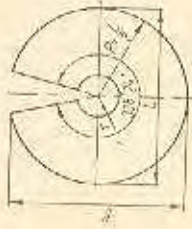
Примечания:

1. Материал — сталь углеродистая, легированная и двухслойная.
2. Размеры L и B указаны без учета припуска на обрезку.
3. Радиус r в заготовке определяется диаметром привариваемого к днищу штуцера.
4. Масса днищ подсчитана для углеродистой стали при $\rho = 7,85 \cdot 10^3$ кг/м³. Для получения массы днищ из высоколегированной стали надлежит применить коэффициент 1,01.

* F_{θ} — внутренняя поверхность днища; V — емкость днища (при r = 0).

Днища колические неогороженные с углом при вершине 140° стальные с внутренними базовыми размерами (по ГОСТу 12624—87)

Днища



Условное обозначение днища с $D_0 = 2000$ мм, $s = 10$ мм из стали марки 16ГС: «Днище 2000×10—16ГС ГОСТ 12624—87»

D_0	s, мм		$V^*, 10^3$ м ³	$F_g^*, 10^3$ м ²	5			8			10			12			14			16		
	≤10	≥11			L	B	Масса кг	L	B	Масса кг	L	B	Масса кг	L	B	Масса кг	L	B	Масса кг	L	B	Масса кг
	H_D																					
1600	248	—	194	2,10	1706	1689	101	1707	1690	135	1708	1621	169	—	—	—	—	—	—	—	—	
1800	278	—	276	2,65	1919	1900	128	1920	1901	170	1921	1902	213	—	—	—	—	—	—	—	—	
2000	310	292	378	3,28	2132	2111	158	2133	2112	210	2134	2113	263	2133	2113	316	—	—	—	—	—	
2200	340	320	502	3,96	2345	2322	191	2346	2322	254	2347	2323	318	2347	2324	382	—	—	—	—	—	
2400	372	350	655	4,72	2558	2532	227	2559	2533	303	2560	2534	379	2560	2535	454	—	—	—	—	—	
2600	403	379	832	5,59	2771	2743	266	2772	2744	355	2773	2745	444	2773	2746	533	—	—	—	—	—	
2800	434	408	1039	6,42	2984	2954	309	2985	2955	412	2986	2956	515	2986	2956	618	—	—	—	—	—	
3000	465	437	1277	7,36	3197	3165	354	3198	3155	473	3199	3167	591	3199	3167	709	—	—	—	—	—	
3200	495	466	1549	8,39	—	—	—	—	—	—	3412	3378	673	3412	3378	724	3413	3379	940	3414	3380	1075
3400	526	495	1857	9,47	—	—	—	—	—	—	3625	3598	759	3625	3580	910	3626	3590	1051	3627	3591	1213
3600	558	525	2203	10,6	—	—	—	—	—	—	3838	3799	851	3838	3800	1020	3839	3801	1189	3840	3802	1359
3800	588	553	2550	11,8	—	—	—	—	—	—	4051	4010	948	4051	4011	1136	4052	4012	1325	4053	4013	1515
4000	618	582	3015	13,1	—	—	—	—	—	—	4254	4221	1050	4254	4222	1260	4255	4223	1468	4256	4224	1678

Примечания:

1. Материал — сталь углеродистая, легированная и двухслойная.
2. Размеры L и B указаны без учета припуска на образку.
3. Масса днища подается для углеродистой стали при $\rho = 7,85 \cdot 10^3$ кг/м³. Для получения массы днищ из высоколегированной стали необходимо применить коэффициент 1,01.
4. В таблице приведены данные только для рекомендуемых толщин стенок.

* F_g — внутренняя поверхность днища; V — емкость днища (при $r = 0$).

Днища, размер заготовок которых больше стандартных размеров листов, изготавливаются составными. Типовые конструкции составных заготовок конических днищ показаны на рис. 16.9. Число секторов выбирается, исходя

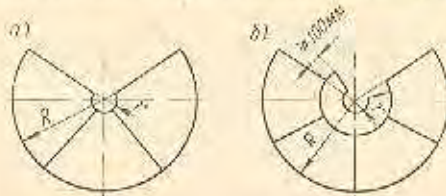


Рис. 16.9. Конструкции составных заготовок конических днищ: а — при числе секторов ≤ 3 и $r \geq 30$ мм; б — при числе секторов > 3 и $r < 30$ мм

из рационального раскроя листов, минимальной длины сварных швов и конструктивных соображений.

Соединение составных частей днища между собой так же, как и присоединение днища к обечайке, осуществляется преимущественно сваркой встык.

При приварке отбортованного днища к обечайке расстояние от оси сварного шва до начала закругления борта должно быть не менее [164]:

- 15 мм при толщине стенки днища $s \leq 5$ мм;
- $2s + 5$ мм при толщине стенки днища $s = 6 \div 8$ мм;
- $s + 15$ мм при толщине стенки днища $s = 10 \div 20$ мм;
- $0,5s + 25$ мм при толщине стенки днища $s > 20$ мм.

Отверстия или вырезы в конической стенке отбортованных днищ не рекомендуется размещать на переходной дуге, на расстоянии $0,5 \sqrt{\frac{D_0 s}{\cos \alpha}}$ по обе стороны от дуги и по швам.

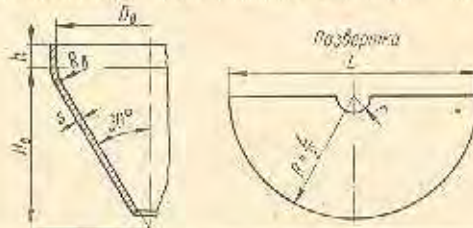
Радиус отбортовки во вновь конструируемых отбортованных днищах рекомендуется выполнять $R_0 \geq 0,15 D_0$.

Форма и габаритные размеры конических отбортованных и неотбортованных днищ из цветных металлов и сплавов, применяемых в соответствующей сварной аппаратуре, в основном те же, что и в аналогичных стальных днищах. На них распространяются также и приведенные выше соображения по конструированию.

В табл. 16.30 и 16.31 приведены основные данные о конических отбортованных днищах из винипласта и фаялита, применяемых в сварной аппаратуре из этих материала-

Таблица 16.30

Днища конические отбортованные с углом при вершине 60° из винипласта и фаялита



Условное обозначение днища из винипласта с $D_0 = 500$ мм: «Днище 1—500 ОН 26-01-22—66»

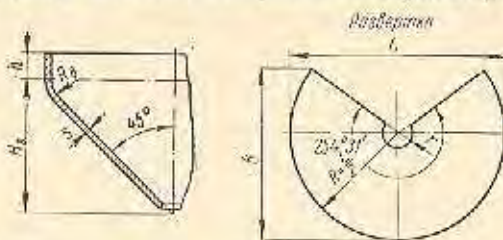
D_0	H_0	R_0	Из винипласта					Из фаялита				
			s	h	L	$V \cdot 10^3, \text{ м}^3$	Масса, кг	s	h	L	$V \cdot 10^3, \text{ м}^3$	Масса, кг
мм												
250	225	38	5	25	582	4,9	0,8	10	40	620	5,6	2,4
300	270	45	6		686	8,1	1,5			740	9,2	3,4
400	363	60	8		902	20,7	3,6	12	50	956	24,0	6,9
500	453	75	9		1140	42,2	6,4			1166	44,0	10,3
600	544	90	12		1354	70,7	12,0			1380	74,0	17,9
700	634	105	14	40	1568	109	19,0	15	50	1588	113	23,8
800	725	120	16		1782	161	25,0			1796	166	32,5
900	779	135	18		1992	211	37,5			—	—	—
1000	906	150	—	2196	306	44,0	20	50	2222	314	62,0	
1200	1087	180	—	—	—	—			2638	532	87,5	
1400	1269	210	—	—	—	—			3052	832	118	
1600	1450	240	—	—	—	—			3490	1227	230	
1800	1631	270	—	—	—	—	3906	1732	286			

Примечания:

1. Размеры развертки L указаны без учета вытяжки при отбортовке и припуска на обрезку.
2. Радиус r в заготовке определяется диаметром привариваемого к днцу штуцера.
3. Плотность материала при подсчете массы днищ принята: для винипласта $\rho = 1,4 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; для фаялита $\rho = 1,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.
4. Приведенные данные для днищ из винипласта — по ОН 26-01-22—66 (тип I), для днищ из фаялита — по [15].

* V — емкость днища.

Днища конические отбортованные с углом при вершине 90° из винилпласта и фаяолита



Условное обозначение днища из винилпласта с $D_0 = 500$ мм: «Днище 2—500 ОН 26-01-22—66»

D_0	H_0	Из винилпласта						Из фаяолита					
		s	h	L	D	$V \cdot 10^3, \text{ м}^3$	Масса, кг	s	h	L	D	$V \cdot 10^3, \text{ м}^3$	Масса, кг
		мм						мм					
250	140	6	25	442	354	3,0	1,0	10	40	480	380	4,6	2,1
300	170	7		522	418	5,1	1,6			554	437	7,6	3,2
400	225	9		676	543	14,3	3,0	12	50	732	587	17,0	5,5
500	281	12	866	695	29,8	6,9	884			710	32,0	7,0	
600	337	14	40	1020	818	49,3	11,0	15	50	1042	837	52,0	11,5
700	394	16		1176	945	75,5	16,0			1194	959	79,0	17,6
800	450	18		1334	1070	110	22,5	—	50	1348	1082	115	23,5
900	506	20	1488	1192	151	33,5	—			—	—	—	—
1000	562		1662	1334	214	45,0							
1200	675	20	1966	1578	360	64,0							
1400	787		2272	1824	558	84,0							
1600	899	30	2594	2083	820	171							
1800	1012		2900	2328	1151	206							

Примечания:

1. Размеры L и D указаны без учета вытяжки при отбортовке и припуска на обрезку.
2. Значения R_0 — см. в табл. 16.30.
3. Радиус r в заготовке определяется диаметром привариваемого к днищу штуцера.
4. Плотность материала при подсчете массы днищ принята: для винилпласта $\rho = 1,4 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; для фаяолита $\rho = 1,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.
5. Приведенные данные для днищ из винилпласта при $D_0 \leq 900$ мм — по ОН 26-01-22—66 (тип 2), при $D_0 = 1000$ мм, а также для всех днищ из фаяолита — по [5].

* V — емкость днища.

лов, работающей под наливом и избыточным давлением до $0,06 \text{ МПа/м}^2$.

Конические днища в литой и ковальной аппаратуре рекомендуется выполнять с плавным переходом конической поверхности в цилиндрическую радиусом $R \geq 0,2D_0$.

Толщина стенок конических днищ, работающих под внутренним или наружным избыточным давлением, определяется расчетом исходя из прочности и устойчивости.

Отверстия в конических днищах, подверженных внутреннему давлению, рекомендуется укреплять, а подверженных наружному давлению — должны быть полностью укреплены. Конструкцию и расчет укрепления отверстий см. в гл. 18.

Приведенная ниже методика расчета днищ на наружное давление применима для расчетных температур и условий, указанных выше для вальцованных сварных цилиндрических обечаек.

Допускаемые отклонения размеров и формы кониче-

ских днищ, выполняемых из листовых материалов (металлических и неметаллических), аналогичны таковым для цилиндрических вальцованных обечаек.

Допускаемое уменьшение толщины стенки у отбортованных днищ в месте перехода цилиндрической части в коническую, а также допускаемое смещение кромок элементов сварных днищ — те же, что и в эллиптических штампованных днищах (см. выше).

Расчет конических днищ, работающих под внутренним давлением

Определение номинальной расчетной толщины стенки конических днищ s' исходя из прочности рекомендуется производить по формулам, приведенным в табл. 16.32 в зависимости от угла при вершине конуса, от величины заранее известных определяющих параметров σ_d и ρ с учетом коэффициента ϕ ослабления стенки днища в мери-

Таблица 16.32

Формулы для определения номинальной расчетной толщины стенки металлических и неметаллических конических днищ, работающих под внутренним давлением (рис. 16.10) (в соответствии с $\frac{\text{ОН 26-01-13-65}}{\text{Н1039-65}}$)

Половина угла при вершине конуса, α°	$\frac{\sigma_{\partial}}{p} \Phi$	При базовом D_{∂} , м (см)	При базовом D_N , м (см)
		Номинальная расчетная толщина стенки s' , м (см)	
≤ 70	≥ 3	$s' = \frac{D_{\partial} p y}{4 \sigma_{\partial} \Phi}$ (16.16)	$s' = \frac{D_N p y}{2 (2 \sigma_{\partial} \Phi + p y)}$ (16.17)
	≥ 3 , но не более 50	$s' = \frac{D p}{2 \cos \alpha (\sigma_{\partial} \Phi - p)}$ (16.18)	$s' = \frac{D' p}{2 [\cos \alpha \sigma_{\partial} \Phi - p (1 - \cos \alpha)]}$ (16.19)
	> 50	$s' = \frac{D p}{2 \cos \alpha \sigma_{\partial} \Phi}$ (16.20)	$s' = \frac{D' p}{2 \cos \alpha \sigma_{\partial} \Phi}$ (16.21)
> 70	≥ 3	$s' = 0,3 (D_{\partial} - R_{\partial}) \frac{\alpha}{90} \sqrt{\frac{p}{\sigma_{\partial} \Phi}}$ (16.22)	$s' = \frac{0,3 (D_N - R_N) \frac{\alpha}{90} \sqrt{\frac{p}{\sigma_{\partial} \Phi}}}{1 + 0,3 \frac{\alpha}{90} \sqrt{\frac{p}{\sigma_{\partial} \Phi}}}$ (16.23)

* Больше значение из (16.16) и (16.18) или (16.16) и (16.20)

** Больше значение из (16.17) и (16.19) или (16.17) и (16.21)

p — расчетное давление в аппарате в Мн/м^2 (кгс/см^2);
 σ_{∂} — допускаемое напряжение на растяжение для материала днища в Мн/м^2 (кгс/см^2);
 $\sigma_{\partial \partial}$ — то же — на изгиб в Мн/м^2 (кгс/см^2);
 y — коэффициент формы днища. Определяется по графику рис. 16.11 в зависимости от отношения $\frac{R_{\partial}}{D_{\partial}} \left(\frac{R_N}{D_N} \right)$ и угла α для днищ (по рис. 16.10) типов I и II и угла $\Phi = \alpha_2 - \alpha_1$ — для днищ типов III и IV.
 D и D' — расчетные диаметры. Для днищ с тороидальным переходом (типы I и III) $D = D_{\partial} - 2 [R_{\partial} (1 - \cos \alpha) + 10s \cdot \sin \alpha]$ — при базовом D_{∂} и $D' = D_N - 2 [R_N (1 - \cos \alpha) + 10s \cdot \sin \alpha]$ — при базовом D_N . Для днищ без тороидального перехода (типы II и IV), $D = D_{\partial}$ — при базовом D_{∂} и $D' = D_N$ — при базовом D_N . Для днищ типов III и IV D и D' определяются каждый для двух сечений (отдельно для нижней и верхней частей конуса).

Примечание. При определении D и D' толщину s рекомендуется принимать равной s' по (16.16) или соответственно по (16.17).
 Данные по определению p , σ_{∂} и $\sigma_{\partial \partial}$ см. в гл. 14, а Φ — в гл. 15 для вальцованных цилиндрических обечаек.

* Получена из (16.16) путем подстановки $D_N - 2s'$ вместо D_{∂} .
 ** Получена из (16.18) путем подстановки $D' - 2s' \cos \alpha$ вместо D .
 *** Получена из (16.22) путем подстановки $D_N - 2s'$ вместо D_{∂} и $R_N - s'$ вместо R_{∂} .

диagonalном направлении и от того, какой задан базовый диаметр днища (внутренний D_{∂} или наружный D_N).

Предлагаемый расчет и зависимости от $\frac{\sigma_{\partial}}{p} \Phi$ получен на основе соответствующего преобразования условий (границы) применения формул (16.16), (16.18) и (16.22) (из $\frac{\text{ОН 26-01-13-65}}{\text{Н1039-65}}$).

$$\frac{s'}{D_{\partial}} \leq \frac{0,25}{\cos \alpha} \quad (16.24)$$

Подставляя значение $s' \leq \frac{0,25}{\cos \alpha} D_{\partial}$ из (16.24) в (16.18), получим $\frac{0,25}{\cos \alpha} D_{\partial} \geq \frac{D_{\partial} p}{2 \cos \alpha (\sigma_{\partial} \Phi - p)}$, или после преобразований

$$\frac{\sigma_{\partial}}{p} \Phi \geq 3. \quad (16.25)$$

Формулу (16.18) можно упростить в пределах допустимой погрешности расчета толщины стенки в 2%

(в меньшую сторону), исключив из знаменателя ρ . В этом случае имеем

$$\frac{D\rho}{2 \cos \alpha (\sigma_{\partial}\varphi - \rho)} = 1,02 \frac{D\rho}{2 \cos \alpha \sigma_{\partial}\varphi},$$

или после преобразований

$$\frac{\sigma_{\partial}}{\rho} \varphi = 51. \quad (16.26)$$

При расчете несимметричных конических обечаек по рис. 15.29 рекомендуется: фактор формы y в формулах

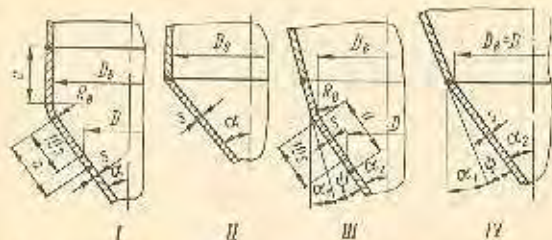


Рис. 16.10. Типовые конструкции конических днищ в сварной аппаратуре: I и III — с отбортовкой; II и IV — без отбортовки

(16.16) и (16.17) принимать для $\frac{R_n}{D_n}$ и $\frac{R_g}{D_n}$ равным 0,01, а в формулах (16.18)—(16.21) значения D и D' определять для конической стороны с максимальной величиной угла α .

Коэффициент ослабления стенки днища φ следует считать: в формулах (16.18)—(16.21) — в меридиональном направлении, в формулах (16.16), (16.17), (16.22) и (16.23) — в кольцевом направлении.

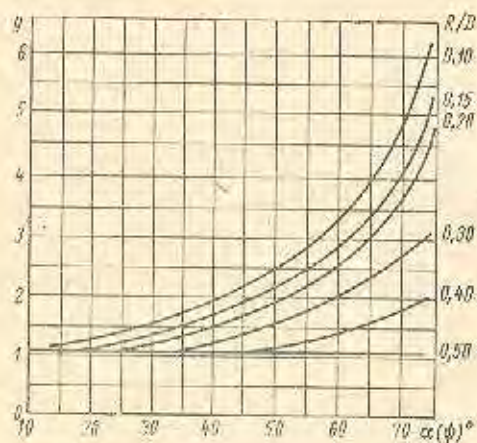


Рис. 16.11. График для определения фактора формы днища y в формулах (16.16) и (16.17)

В последнем случае для днищ с торoidalным переходом $\varphi = 1$, если шов удален от торoidalного перехода на величину $a \geq 0,5 \sqrt{\frac{D_n s}{\cos \alpha}}$. Для днищ без торoidalного перехода значение φ принимается в зависимости от типа стыкового шва.

Величину отбортованной части в конических днищах следует принимать $a \geq 0,5 \sqrt{D_n s}$. Толщина стенки днища s с учетом прибавок определяется по формуле (15.10).

Выбор прибавок производится аналогично таковому для цилиндрических обечаек. Для отбортованных днищ прибавка на утонение толщины стенки на участке перехода от цилиндрической части к конической не дается, если это утонение не превышает 10% от толщины стенки. В любом случае толщина стенки днища должна быть не менее толщины стенки цилиндрической обечайки, сопрягаемой с днищем, рассчитанной по формулам табл. 15.6.

При проверочных расчетах допускаемое давление ρ_{∂} для конических днищ при соблюдении условия (16.24) определяется по формулам, приведенным в табл. 16.33.

Таблица 16.33

Формулы для определения допускаемого давления ρ_{∂} в конических днищах

(по ОН26-01-13-65)
(Н1035-64)

Половина угла при вершине конуса α°	Допускаемое давление ρ_{∂} , Мн/м ² (кгс/см ²)	Меньшее значение
≤ 70	$\rho_{\partial} = \frac{4\sigma_{\partial}\varphi(s - C_n)}{D_{сн}}$ (16.27)	
	$\rho_{\partial} = \frac{2 \cos \alpha \sigma_{\partial}\varphi (s - C_n)}{D \cdot 2 \cos \alpha (s - C_n)}$ (16.28)	
> 70	$\rho_{\partial} = \sigma_{\partial}\varphi \left[\frac{s - C_n}{0,3(D_n - R_n)} \cdot \frac{90}{\alpha} \right]^2$ (16.29)	
Значения величин те же, что и в табл. 16.32.		

Пример 16.4. Определить толщину стенки нижнего стандартного конического отбортованного днища для сварной обечайки вертикального аппарата, рассчитанной в примере 15.1 (см. рис. 15.3), по следующим данным: материал днища сталь марки Ст.3; $C_n = 1$ мм; $\sigma_{\partial} = \sigma_{\partial 0} = 140$ Мн/м² (1400 кгс/см²); $\rho = 1,06$ Мн/м² (10,6 кгс/см²); $D_n = 2$ м; $\frac{R_n}{D_n} = 0,15$; $\alpha = 30^\circ$; днище составное сварное ($\varphi_{ш} = 0,95$) без отверстий по образующим. Определим отношение определяющих параметров σ_{∂} и ρ с учетом коэффициента $\varphi_{ш}$

$$\frac{\sigma_{\partial}}{\rho} \varphi_{ш} = \frac{140}{1,06} \cdot 0,95 = 125,2 > 50 \gg 3.$$

Коэффициент формы днища при $\alpha = 30^\circ$ и $\frac{R_n}{D_n} = 0,15$ определяем по графику рис. 16.11 — $y = 1,4$.

Номинимальную расчетную толщину стенки днища согласно табл. 16.32 сначала определяем по формуле (16.16)

$$s' = \frac{D_n \rho y}{4 \sigma_{\partial} \varphi} = \frac{2 \cdot 1,06 \cdot 1,4}{4 \cdot 140 \cdot 0,95} = 5,59 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 5,59 \text{ мм}.$$

Определим расчетный диаметр D в формуле (16.20), считая $s = s'$

$$D = D_0 - 2 [R_n (1 - \cos \alpha) + 10s' \sin \alpha] = \\ = 2 - 2 [0,3 (1 - \cos 30^\circ) + \\ + 10 \cdot 5,59 \cdot 10^{-3} \sin 30^\circ] = 1,864 \text{ м.}$$

Номинальную расчетную толщину стенки днища теперь определяем по формуле (16.20), принимая в ней $\varphi = 1$ (сварной шов удален от торидального перехода на величину, большую $0,5 \sqrt{\frac{D_0 s}{\cos \alpha}}$),

$$s' = \frac{D p}{2 \cos \alpha \sigma_{\partial} \varphi} = \frac{1,864 \cdot 10^6}{2 \cos 30^\circ \cdot 140 \cdot 1} = \\ = 8,15 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 8,15 \text{ мм.}$$

За расчетное значение s' принимаем большее значение по формуле (16.20).

Выбираем прибавку на округление толщины стенки (до ближайшего большего размера по сортаменту) $C_n = 0,85 \text{ мм}$.

Суммарную прибавку к номинальной расчетной толщине стенки определяем по формуле (14.12)

$$C = C_n + C_p + C_o = 1 + 0 + 0,85 = 1,85 \text{ мм.}$$

Толщину стенки обечайки с учетом прибавок определяем по формуле (15.10)

$$s = s' + C = 8,15 + 1,85 = 10 \text{ мм.}$$

Допускаемое давление в днище согласно табл. 16.33 определяем по формулам (16.27) и (16.28):

$$p_{\partial} = \frac{4\sigma_{\partial}\varphi(s - C_n)}{D_0 \psi} = \frac{4 \cdot 140 \cdot 0,95 (10 - 1) 10^{-3}}{2 \cdot 1,4} = \\ = 1,7 \text{ МПа/м}^2 (17 \text{ кгс/см}^2); \\ p_{\partial} = \frac{2 \cos \alpha \sigma_{\partial} \varphi (s - C_n)}{D + 2 \cos \alpha (s - C_n)} = \\ = \frac{2 \cos 30^\circ \cdot 140 \cdot 1 (10 - 1) 10^{-3}}{1,864 + 2 \cos 30^\circ (10 - 1) 10^{-3}} = \\ = 1,18 \text{ МПа/м}^2 (11,8 \text{ кгс/см}^2).$$

Действительным p_{∂} является меньшее значение, определенное по формуле (16.28).

Пример 16.5. Определить толщину стенки конического днища ковального корпуса вертикального аппарата, рассчитанного в примере 15.5 (см. рис. 15.15), по следующим данным: материал днища — специальная легированная сталь; $C_n = 0$; $\sigma_{\partial} = \sigma_{\partial d} = 219 \text{ МПа/м}^2 (2190 \text{ кгс/см}^2)$; $p = 40 \text{ МПа/м}^2 (400 \text{ кгс/см}^2)$; $D_n = 0,6 \text{ м}$; $\frac{R_n}{D_n} = 0,15$; $\alpha = 75^\circ$; днище цельное ковانه эллипсоид с цилиндрической обечайкой ($\varphi = 1$).

Определим отношение определяющих параметров σ_{∂} и p

$$\frac{\sigma_{\partial}}{p} \varphi = \frac{219}{40} \cdot 1 = 5,48 > 3.$$

Номинальную расчетную толщину стенки днища согласно табл. (16.32) определяем по формуле (16.22)

$$s' = 0,3 (D_0 - R_n) \frac{\alpha}{90} \sqrt{\frac{p}{\sigma_{\partial} \varphi}} = \\ = 0,3 (0,6 - 0,09) \frac{75}{90} \sqrt{\frac{40}{219 \cdot 1}} = \\ = 54,5 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 54,5 \text{ мм.}$$

Поскольку толщина стенки сопрягаемой с днищем цилиндрической обечайки (см. пример 15.5) $s = 95 \text{ мм}$, окончательно толщину стенки принимаем равной толщине стенки обечайки, т. е. $s = 95 \text{ мм}$, что значительно больше номинальной расчетной.

Расчет конических днищ, работающих под наружным давлением (по $\frac{\text{ОН 26-01-13-65}}{\text{Н 1039-65}}$)

Расчет таких днищ рекомендуется производить следующим образом.

Толщина стенки конического днища предварительно принимается равной толщине стенки сопрягаемой с ним цилиндрической обечайки, рассчитанной по приведенным в п. 15.1 формулам для обечайки, работающих под наружным давлением.

Затем определяется расчетная сила P в Мн (кгс) , сжимающая днище, по формуле

$$P = \frac{\pi}{4} D_n^2 p_n. \quad (16.30)$$

Допускаемая осевая сжимающая сила P_{∂} в Мн (кгс) определяется по формуле

$$P_{\partial} = \pi K_c E t (s - C_n)^2 \cos^2 \alpha, \quad (16.31)$$

где K_c — коэффициент. Определяется так же, как и при расчете цилиндрических обечайки, работающих под действием осевой сжимающей силы (см. п. 15.1), для расчетного диаметра днища D' , определяемого по (16.32) или (16.33).

Допускаемое наружное давление $p_{\partial d}$ на днище определяется по формуле (15.23), если соблюдено условие (15.20); по формуле (15.22), если соблюдено условие (15.21).

Во всех формулах при этом расчетная длина l' принимается равной высоте конической части днища, а расчетный диаметр D' (вместо D_n или D_{n1}) в м (см) находится по следующим формулам:

$$\text{при базовом } D_n \quad D' = \frac{0,9 D_n + 0,1 D_{n1}}{\cos \alpha}; \quad (16.32)$$

$$\text{при базовом } D_{n1} \quad D' = \frac{0,9 D_{n1} + 0,1 D_{n1}}{\cos \alpha}, \quad (16.33)$$

где D_n и D_{n1} — больший и меньший внутренние диаметры конического днища в м (см) ;

D_n и D_{n1} — больший и меньший наружные диаметры конического днища в м (см) .

Условие устойчивости днища определяется по формуле ($\frac{\text{ОН 26-01-13-65}}{\text{Н 1039-65}}$)

$$\frac{P}{P_{\partial}} + \frac{p_n}{p_{\partial d}} \leq 1. \quad (16.34)$$

Если данное условие не будет выполнено, то предварительно принятая толщина стенки днища должна быть соответственно увеличена.

Пример 16.6. Определять толщину стенки нижнего стандартного конического днища (вместо эллиптического) для сварной обечайки вертикального аппарата, рассчитанной в примере 15.2 (см. рис. 15.10), по следующим данным: материал днища — сталь марки Х18Н10Т ($E^{150} = 1,85 \cdot 10^5 \text{ МПа/м}^2$, $\sigma_T^{150} = 210 \text{ МПа/м}^2$); $\sigma_{\partial d} = 138 \text{ МПа/м}^2$; $D_0 = 0,8 \text{ м}$; $p_n = 0,63 \text{ МПа/м}^2$; $C_n = 1 \text{ мм}$; днище цельное отбортованное с нижним отверстием $d = 0,1 \text{ м}$; $\alpha = 45^\circ$.

Предварительно принимаем толщину стенки днаща равной толщине сопрягаемой с ним цилиндрической обечайки (см. пример 15.2) $s = 12$ мм. Расчетная осевая сжимающая сила, определенная в примере 15.2, $P = 0,348$ Мн (34 800 кгс).

Определяем допускаемую осевую сжимающую силу для днаща по формуле (16.31)

$$P_d = \pi K_e E t (s - C_k)^2 \cos^2 \alpha = \\ = \pi \cdot 0,0357 \cdot 1,85 \cdot 10^5 (0,012 - 0,001) \cos^2 45^\circ = \\ = 1,252 \text{ Мн (125 200 кгс)}.$$

Определяем высоту конической части днаща при $\alpha = 45^\circ$

$$H_a = 0,5 (D_o - D_{a2}) = \\ = 0,5 (0,8 - 0,1) = 0,35 \text{ м}.$$

Определяем расчетный диаметр днаща по формуле (16.32)

$$D' = \frac{0,9D_o + 0,1D_{a1}}{\cos \alpha} = \frac{0,9 \cdot 0,8 + 0,1 \cdot 0,1}{\cos 45^\circ} = 1,03 \text{ м}.$$

$$\text{Отношение } \frac{H_a}{D'} = \frac{0,35}{1,03} = 0,34.$$

Определяем значение правой части условий (15.20) и (15.21)

$$0,3 \frac{E^t}{\sigma_T^t} \sqrt{\left[\frac{2(s - C_k)}{D'} \right]^3} = \\ = 0,3 \frac{1,85 \cdot 10^5}{210} \sqrt{\left[\frac{2(0,012 - 0,001)}{1,03} \right]^3} = 0,825.$$

Поскольку $0,34 < 0,825$, т. е. имеет место условие (15.21), допускаемое наружное давление на днаще определяем по формуле (15.22)

$$P_{нд} = \frac{2\sigma_{сд}(s - C_k)}{D' \left[1 + 1,02 \frac{(H')^3 D'}{(s - C_k)^3} \left(\frac{\sigma_T^t}{E^t} \right)^2 \right]} = \\ = \frac{2 \cdot 138 (0,012 - 0,001)}{1,03 \left[1 + 1,02 \frac{0,35^3 \cdot 1,03}{(0,012 - 0,001)^3} \left(\frac{210}{1,85 \cdot 10^5} \right)^2 \right]} = \\ = 2,62 \text{ Мн/м}^2 (26,2 \text{ кгс/см}^2).$$

Проверяем условие устойчивости днаща по формуле (16.34)

$$\frac{P}{P_d} + \frac{P_k}{P_{нд}} = \frac{0,348}{1,252} + \frac{0,83}{2,62} = \\ = 0,276 + 0,24 = 0,516 < 1$$

и, следовательно, устойчивость обеспечена.

16.4. ПЛОСКИЕ КРУГЛЫЕ ДНИЩА

Плоские днаща по сравнению с эллиптическими и сферическими днащами являются менее рациональными с точки зрения восприятия давления, поскольку при прочих равных условиях толщина стенки плоских днащ, подверженных давлению, исходя из прочности, получается большей, чем у соответствующих эллиптических и сферических днащ.

Поэтому плоские днаща в аппаратах диаметром с 400 мм и выше, на которые имеются стандартизованные эллиптические отбортованные днаща, как правило, при-

меняют при работе аппаратов под избыточным давлением не следует.

Исключением являются днаща кованых аппаратов, в которых по технологическим и экономическим соображениям плоские днаща (несмотря на высокое давление в аппаратах, независимо от их диаметра) находят широкое применение.

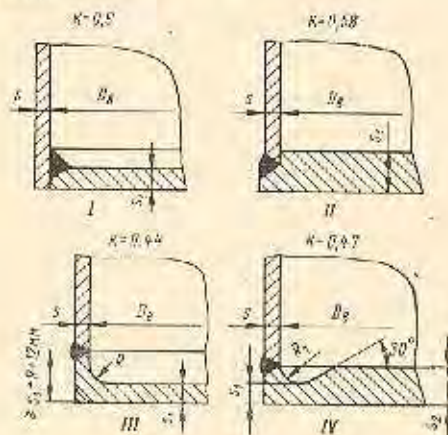


Рис. 16.12. Основные типовые конструкции плоских круглых днащ для аппаратов, работающих под избыточным давлением: $R \geq 2,5 s$; $R_1 \leq 0,15 s_1$, но не менее 8 и не более 20 мм; для типа IV $s_1 = (0,6 - 0,8) s_2$

Плоские днаща снизу аппарата следует применять в сварной вертикальной цилиндрической аппаратуре, работающей под наливом и атмосферным давлением, при установке аппарата днащем на сплошное основание.

Верхние днаща в таких аппаратах можно выполнять также плоскими. При этом их (особенно для диаметров аппарата более 800 мм) рекомендуется укреплять ребрами.

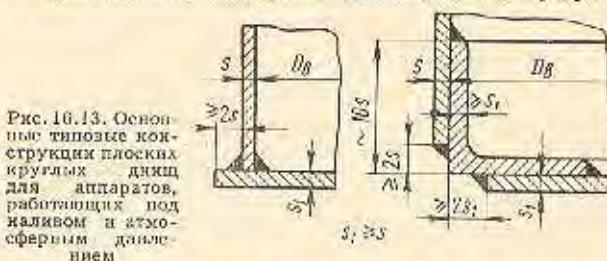


Рис. 16.13. Основные типовые конструкции плоских круглых днащ для аппаратов, работающих под наливом и атмосферным давлением

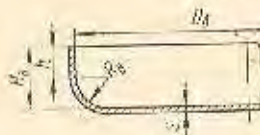
исходя из жесткости и возможных нагрузок на них в процессе эксплуатации и обслуживания. Вместе с тем, следует иметь в виду, что при диаметре указанных аппаратов более 1,5 м верхние днаща часто бывает целесообразным выполнять в виде неотбортованных сферических или конических (с большим углом при вершине) днащ.

Плоские днаща применяются в подвешенных избыточному давлению вертикальных и горизонтальных сварных аппаратах малого диаметра, на которые отсутствуют стандартизованные эллиптические днаща, а также в тех случаях (независимо от диаметра), когда по каким-либо соображениям нельзя применить отбортованные эллиптические, сферические и конические днаща. Такие днаща должны быть отбортованными, их целесообразно укреплять ребрами.

На рис. 16.12—16.14 показаны основные типовые конструкции плоских днащ, применяемых в химических аппаратах.

Таблица 16.34

Днища плоские отбортованные стальные с внутренними базовыми размерами (по ГОСТу 12625—67)



Условное обозначение днища с $D_0 = 600$ мм, $s = 4$ мм из стали марки Ст.3: «Днище 600×4—Ст.3 ГОСТ 12625—67»

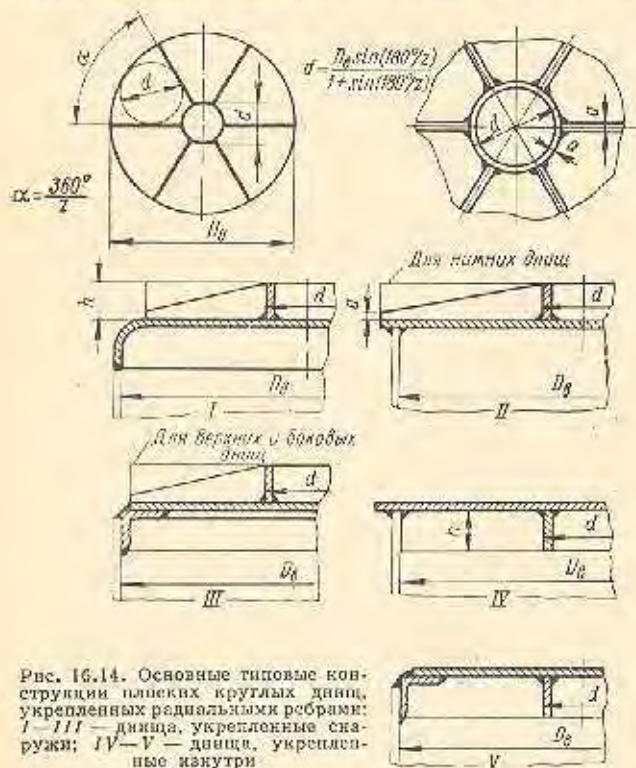


Рис. 16.14. Основные типовые конструкции плоских днищ, укрепленных радиальными ребрами: I—III—днища, укрепленные снаружи; IV—V—днища, укрепленные изнутри

или хранятся чистые среды, а также в тех случаях, когда к внутренним поверхностям аппарата предъявляются повышенные требования по чистоте.

В табл. 16.36 и 16.37 приведены основные данные о стандартизованных плоских стальных неотбортованных днищах, предназначенных для тех же аппаратов, что и отбортованные днища, но без защитного покрытия и при отсутствии повышенных требований к чистоте внутренней поверхности аппарата.

Плоские (нижние, верхние и боковые) днища в аппаратах из неметаллических материалов рекомендуется выполнять преимущественно укрепленными ребрами согласно рис. 16.14. Допускаемые отклонения размеров днищ рекомендуются по 9-му классу точности.

Расчет плоских днищ, работающих под внутренним или наружным давлением, производится следующим образом. Номинальная расчетная толщина стенки плоского неукрепленного ребрами днища s' в мм (см) определяется по формуле

$$s' = \frac{KD}{K_0} \sqrt{\frac{p}{\sigma_{\text{вд}}}}, \quad (16.35)$$

где D — расчетный диаметр днища в мм (см).

D_0	H_0	h	R_0	D^0	$F_0, \text{ кг}$	$V, \text{ Д}^3, \text{ м}^3$	$s, \text{ мм}$					
							4	6	8	10		
мм							Масса, кг					
400	40	25	15	473	0,17	5	5,5					
500				573	0,25	8	8,1					
600				673	0,35	11	11,2					
700				773	0,46	15	14,7					
800				897	0,62	27		29,8				
900	997	0,76	34			36,7						
1000	1097	0,93	42				44,5					
1100	1197	1,16	51					53,0				
1200	54	24	24	1297	1,30	61		62,1				
1400				1497	1,73	83		82,8				
1600				1697	2,23	104		106				
1800				1897	2,79	137		133				
2000				2097	3,42	169		163				
2200	30			2312	4,14	234			263	329		
2400				2512	4,89	279			310	389		
2600				2712	5,70	327			362	453		
2800				62	32	32	2912	6,58	380		417	523
3000							3112	7,52	436		476	597
3200	3312	8,52	496					540	676			
3400	3521	9,65	632						764			
3600	3721	10,8	708						853			
3800	70	40	40	3921	12,0	782			948			
4000				4121	13,2	875			1036			

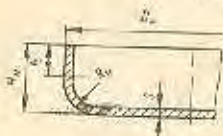
Примечания:

1. Материал — сталь углеродистая, легированная двухслойная.
2. Масса днищ подсчитана для углеродистой стали при $\rho = 7,85 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.
3. Диаметры размерток D указаны без учета выточки при отбортовке и припуска на обрезку.
4. Приведенные значения D для $D_0 = 2200 \div 3200$ мм относятся к днищам с $s = 10$ мм. При $s = 8$ мм указанные значения D для тех же D_0 соответственно на 3 мм меньше.

* D — диаметр разбертки; F_0 — внутренняя поверхность днища; V — емкость днища.

Таблица 16.35

Днища плоские отбортованные стальные
с наружными базовыми размерами
(по ГОСТу 12625—67)



Условное обозначение днища с
 $D_n = 630$ мм, $s = 4$ мм из стали
марки Ст.3: «Днище 630×4—Ст.3
ГОСТ 12625—67»

D_n	s	H_n	h	R_n	D^*	$F_{D_n}^*$, м ²	V^* , 10 ³ , м ³	Масса, кг
мм								
630	4	44	25	19	695	0,37	12	11,9
720					785	0,48	16	15,2
820					905	0,63	27	30,3
920	6	60	30	30	1005	0,78	35	37,3
1020					1221	0,94	43	45,1

Примечания:

1. Материал — сталь углеродистая, легированная и двухслойная.
2. Размеры D указаны без учета вытяжки при отбортовке и припуска на обточку.
3. Масса днищ подсчитана для углеродистой стали при $\rho = 7,85 \cdot 10^4$ кг/м³.

* D — диаметр заготовки днища; F_D — внутренняя поверхность днища; V — емкость днища.

Принимается: для типов I, II и IV (рис. 16.12) $D = D_s$, для типа III $D = D_e - R_0$.

K — коэффициент конструкции днища. Принимается согласно рис. 16.12;

K_0 — коэффициент, учитывающий ослабление днища отверстиями.

Принимается [119]: для днищ без отверстий $K_0 = 1$; для днищ с одним отверстием

$$K_0 = 1 - 0,43 \frac{d}{D_0} \text{ при } \frac{d}{D_0} < 0,35; \quad K_0 = 0,85 \text{ при}$$

$0,35 \leq \frac{d}{D_0} \leq 0,75$, для днищ с двумя отверстиями — как для днищ с одним эквивалентным отверстием, определяемым по формуле

$$d_0 = \sqrt{d_1^2 + d_2^2}$$

d — диаметр отверстия в днище в м (см);

d_0 — диаметр эквивалентного отверстия (при двух отверстиях) в м (см);

d_1 и d_2 — диаметры первого и второго отверстий в м (см).

Примечание. Расстояние между кромками отверстий не должно быть меньше диаметра меньшего из них.

p — расчетное давление в Мн/м² (кгс/см²). Принимается внутреннее или наружное давление в зависимости от рабочих условий днища;

$\sigma_{ад}$ — допускаемое напряжение на изгиб для материала днища в Мн/м² (кгс/см²).

Данные по определению p и $\sigma_{ад}$ см. в гл. 14.

Толщина стенки днища s с учетом прибавок определяется по формуле (15.10).

Дополнительную прибавку C_D рекомендуется принимать:

для днищ, выполняемых из листового проката — до ближайшего большего размера по соответствующему сорту на листовой прокат;

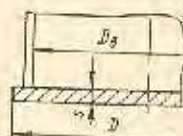
для ковшах днищ — до ближайшего большего размера, оканчивающегося на 5 или 0 (в мм).

При проверочных расчетах допускаемое давление на днище p_D в Мн/м² (кгс/см²) определяется по формуле

$$p_D = \frac{K_D^2 \sigma_{ад} (s - C_D)^2}{K^2 D^2} \quad (16.36)$$

Таблица 16.36

Днища плоские неотбортованные стальные
с внутренними базовыми размерами
(по ГОСТу 12626—67)



Условное обозначение днища с $D_s = 600$ мм, $s = 4$ мм из стали марки Ст.3: «Днище 600×4—Ст.3 ГОСТ 12626—67»

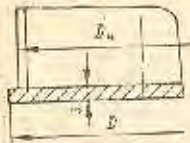
D_n	D	s , мм					
		3	4	6	8	10	12
мм		Масса, кг					
400	420	4,2					
500	520	6,4					
600	630	7,3	9,7				
700	730	9,9	13,2				
800	830	12,7	17,0				
900	930	16,0	21,4				
1000	1040	20,0	26,7				
1100	1140	24,0	32,0				
1200	1240	28,4	37,9				
1400	1440	38,3	51,1				
1600	1640	49,7	66,3				
1800	1840		83,4	125	167	209	250
2000	2040		103	154	205	257	308
2200	2240		124	186	274	309	371
2400	2440		147	220	294	367	440
2600	2640		172	258	344	430	515
2800	2840		199	298	398	497	596
3000	3080		231	346	462	577	692
3200	3260		262	393	524	655	786
3400	3460			443	590	738	885
3600	3660			495	661	826	991
3800	3860			551	735	918	1102
4000	4060			609	812	1016	1219

Примечания:

1. Материал — сталь углеродистая и легированная.
2. Масса днищ подсчитана для углеродистой стали при $\rho = 7,85 \cdot 10^4$ кг/м³. Для полусферы массы днищ на высоколегированной стали подлежит применить коэффициент 1,01.

Таблица 16.37

Днища плоские неотбортованные стальные с наружными базовыми размерами (по ГОСТУ 12826—67)



Условное обозначение днища с $D_n = 630$ мм, $s = 4$ мм из стали марки Ст.3: «Днище 630×4—Ст.3»

D_n	s	D	Масса, кг
мм			
273	3	290	1,9
325		345	2,8
377		395	3,7
426		445	4,7
530		550	5,6
630	4	650	10,1
720		740	13,5
820		840	17,4
920		940	21,7
1020		1040	26,8

Примечания:
1. Материал — сталь углеродистая и легированная.
2. Масса днищ подсчитана для углеродистой стали при $\rho = 7,85 \cdot 10^3$ кг/м³. Для получения массы днищ из высоколегированной стали надлежит применить коэффициент 1,01.

При укреплении плоских круглых днищ ребрами (которые могут устанавливаться как снаружи, так и изнутри) последние могут размещаться либо по радиусам от центрально расположенного кольца, либо параллельно диаметру в одном или двух перпендикулярных направлениях.

Рекомендуемое расположение укрепляющих ребер на днище показано на рис. 16.15.

Размещение параллельных ребер получено исходя из условия равенства изгибающих моментов для каждого ребра, считая их упрощенно как балки на двух опорах, равномерно нагруженные от давления на соответствующий элемент днища (заштрихованная часть) при прохождении ребер через центр тяжести этих элементов. Благодаря указанному все ребра работают в одинаковых условиях и получаются по расчету одного сечения. При размещении ребер на равных расстояниях друг от друга диаметрально ребра являются наиболее нагруженными, что нерацонально.

Расчет плоских круглых днищ, укрепленных ребрами, можно производить по следующей упрощенной методике.

Выбирается размещение ребер исходя из размещения днища (большее число ребер для относительно больших диаметров днищ).

Номинальная расчетная толщина стенки s' днища из условия прочности определяется по формуле (15.71) для наибольшего плоского элемента днища (между ребрами или ребрами и краем днища).

При радиальном размещении ребер в формуле (15.71) величина b принимается равной d по рис. 16.14. Значение коэффициента $K = 0,5$.

Расчет ребер производится в зависимости от размещения их.

При радиальном размещении рассматриваем диаметрально ребро как балку, свободно опертую по концам и нагруженную равномерным давлением (см. рис. 16.15) по заштрихованной площадке. Предварительно принимаем, что ребра (без учета палицы плоской стенки) воспринимают половину всей нагрузки на днище*. Тогда максималь-

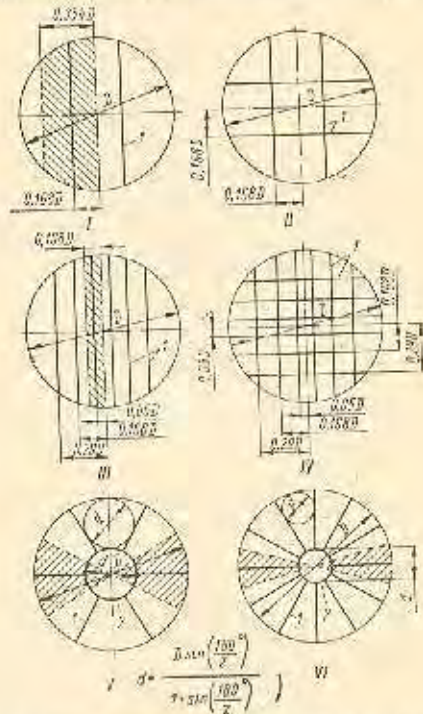


Рис. 16.15. Размещение укрепляющих ребер в плоских круглых днищах: I—IV — параллельное размещение; V и VI — радиальное размещение. Количество ребер: I — $z = 2$; II — $z = 4$; III — $z = 6$; IV — $z = 12$. I — укрепляющее ребро; 2 — укрепляющее кольцо. При радиальном размещении ребер $z \geq 6$.

ний изгибающий момент для одного ребра (в центре днища) M_u в Мм·м (кгс·см)

$$M_u = \frac{\pi}{4} D^3 \frac{p}{2} \cdot \frac{1}{z} \left(\frac{D}{2} - \frac{D}{3} \right) = 0,065 \frac{D^3 p}{z}, \quad (16.37)$$

где z — число радиальных ребер;

p — расчетное давление в Мн/м² (кгс/см²).

Предварительный расчетный момент сопротивления ребра W'_p в м³ (см³)

$$W'_p = \frac{M_u}{\sigma_{ud}} = 0,065 \frac{D^3 p}{z \sigma_{ud}}. \quad (16.38)$$

Выбор профиля и размеров поперечного сечения ребер см. в п. 15.2. (Поперечное сечение центрального укрепля-

* Данное условие рекомендуется как прикидочное с последующей проверкой правильности его при определении максимального напряжения в ребрах, рассматривая работу последних совместно с плоской стенкой днища.

ющего кольца принимается равным поперечному сечению ребра).

Момент сопротивления составного поперечного сечения ребра с частью плоской стенки днища W_{pc} , приходящейся на одно ребро (см. рис. 15.23), определяется по формуле (15.77). При этом площадь принятого поперечного сечения части плоской стенки, приходящейся на одно ребро, определяется по формуле (15.78), в которой значение $x = \frac{\pi d}{z}$ (d — диаметр центрального диска в днище).

Максимальное напряжение на изгиб в укрепляющих ребрах σ_u в Мн/м^2 (кгс/см^2) должно отвечать условию

$$\sigma_u = \frac{0,13D^3p}{zW_{pc}} \leq 1,1\sigma_{ud} \quad (16.39)$$

При параллельном размещении ребер упрощенно рассматриваем большее по длине ребро как балку, свободно опертую по концам и нагруженную равномерным давлением (см. рис. 16.15) по заштрихованной площади. Аналогично расчету радиальных ребер — при половинной нагрузке на ребра от давления — максимальный изгибающий момент для указанного ребра посередине его M_u в $\text{Мн}\cdot\text{м}$ ($\text{кгс}\cdot\text{см}$)

$$M_u \approx \frac{\pi D^3}{4} \cdot \frac{p}{2} \cdot \frac{1}{z} \cdot \frac{D}{8} = 0,049 \frac{D^3 p}{z} \quad (16.40)$$

Предварительный расчетный момент сопротивления ребра W'_p в м^3 (см^3)

$$W'_p = \frac{M_u}{\sigma_{ud}} = 0,049 \frac{D^3 p}{z\sigma_{ud}} \quad (16.41)$$

Выбор профиля и размеров поперечного сечения ребер, а также определение момента сопротивления составного поперечного сечения ребра с частью плоской стенки днища W_{pc} , приходящейся на одно ребро, производится аналогично радиальным ребрам. При этом при определении площади плоской стенки днища, приходящейся на одно ребро, по формуле (15.78) значение x принимается равным ширине заштрихованной площади части днища.

Максимальное напряжение на изгиб в укрепляющих ребрах σ_u в Мн/м^2 (кгс/см^2) должно отвечать условию

$$\sigma_u = \frac{0,098D^3p}{zW_{pc}} \leq 1,1\sigma_{ud} \quad (16.42)$$

В случае невыполнения условий (16.39) или (16.42), а также при $\sigma_u < \sigma_{ud}$ предварительно определенное поперечное сечение ребер или число их рекомендуется соответственно изменить.

Пример 16.7. Определить толщину стенки плоского круглого днища по рис. 16.12, III для обечайки аппарата, рассчитанной в примере 15.5 (см. рис. 15.15) по следующим данным: материал днища — специальная легированная сталь ($C_k = 0$); $\sigma_{ud} = 219 \text{ Мн/м}^2$ (2190 кгс/см^2); $D_d = 0,6 \text{ м}$; днище цельное кованое заводно с обечайкой; $R_d = 0,1 \text{ м}$; $p = 40 \text{ Мн/м}^2$ (400 кгс/см^2); посередине днища имеется отверстие $d = 0,05 \text{ м}$.

Определяем коэффициент K_d , учитывающий ослабление днища отверстием, при $\frac{d}{D_d} = \frac{0,05}{0,6} = 0,0835 < 0,35$

$$K_d = 1 - 0,43 \frac{d}{D_d} = 1 - 0,43 \cdot 0,0835 = 0,964.$$

Номинальную расчетную толщину плоской стенки днища определяем по формуле (16.35); при коэффициенте K конструкции, равном 0,44 (см. рис. 16.12, III),

$$s' = \frac{K(D_d - R_d)}{K_d} \sqrt{\frac{p}{\sigma_{ud}}} = \frac{0,44(0,6 - 0,1)}{0,964} \sqrt{\frac{40}{219}} = 98 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 98 \text{ мм}.$$

Прибавку на округление размера принимаем $C_d = 2 \text{ мм}$. Толщину плоской стенки днища с учетом прибавки определяем по формуле (15.10)

$$s = s' + C_d = 98 + 2 = 100 \text{ мм}.$$

Пример 16.8. Определить толщину укрепленного ребрами плоского стандартного круглого отбортованного днища и поперечное сечение укрепляющих ребер для горизонтального сварного аппарата по следующим данным: материал днища — сталь марки Ст.3, аппарат внутри гуммирован ($C_k = 0$); $\sigma_{ud} = 140 \text{ Мн/м}^2$ (1400 кгс/см^2); $p = 0,3 \text{ Мн/м}^2$ (3 кгс/см^2); $t_c = 20^\circ \text{ C}$; $D_d = 1,0 \text{ м}$; укрепление радиальными ребрами. Выбираем число радиальных ребер $z = 6$.

Расчетный диаметр днища определяем по рис. 16.15

$$d = \frac{D_d \sin\left(\frac{180^\circ}{z}\right)}{1 + \sin\left(\frac{180^\circ}{z}\right)} = \frac{1 \cdot \sin\left(\frac{180^\circ}{6}\right)}{1 + \sin\left(\frac{180^\circ}{6}\right)} = \frac{1 \cdot 0,5}{1 + 0,5} = 0,333 \approx 0,33 \text{ м}.$$

Номинальную расчетную толщину плоской стенки днища определяем по формуле (15.71), считая $b = d$, а $K = 0,5$,

$$s' = Kd \sqrt{\frac{p}{\sigma_{ud}}} = 0,5 \cdot 0,33 \sqrt{\frac{0,3}{140}} = 7,65 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 7,65 \text{ мм}.$$

Толщину плоской стенки с учетом дополнительной прибавки на округление размера до ближайшего большего по сортаменту принимаем $s = 8 \text{ мм}$.

Определяем предварительный расчетный момент сопротивления ребра по формуле (16.38)

$$W'_p = 0,065 \frac{D^3 p}{z\sigma_{ud}} = 0,065 \frac{1^3 \cdot 0,3}{6 \cdot 140} = 23,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Выбираем укрепляющие ребра прямоугольного сечения с отношением толщины к высоте 1/5. Номинальную расчетную толщину ребра определяем по формуле (15.76)

$$s'_p = 0,62 \sqrt[3]{W'_p} = 0,62 \sqrt[3]{23,2 \cdot 10^{-6}} = 17,7 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 17,7 \text{ мм}.$$

Проверим максимальное напряжение в ребрах. Предварительно находим:

$$F_p = s'_p h'_p = 0,0177 \cdot 5 \cdot 0,0177 = 15,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$J_p = \frac{s'_p (h'_p)^3}{12} = \frac{1,77 \cdot 10^{-2} (5 \cdot 0,0177)^3}{12} = 102 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4;$$

$$F_c = \frac{\pi d}{z} (s - C_k) = \frac{\pi \cdot 0,33 \cdot 0,008}{6} = 13,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$J_c = \frac{\pi d (s - C_k)^3}{z \cdot 12} = \frac{\pi \cdot 0,33 \cdot 0,008^3}{6 \cdot 12} = 0,737 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4;$$

по формуле (15.70)

$$y = \frac{F_p h_p - F_c (s - C_k)}{2(F_p + F_c)} = \frac{15,7 \cdot 10^{-4} \cdot 5 \cdot 0,0177 - 13,8 \cdot 10^{-4} \cdot 0,008}{2(15,7 + 13,8) \cdot 10^{-4}} = 0,0217 \text{ м} = 21,7 \text{ мм}$$

по формуле (15.77)

$$W_{pc} = \frac{J_p + J_c + F_p(0,5h_p - y)^2 + F_c[y + 0,5(s - C_k)]^2}{h_p - y} = \frac{102 \cdot 10^{-8} + 0,737 \cdot 10^{-8} + 15,7 \cdot 10^{-4} (0,5 \cdot 5 \cdot 0,0177 - 0,0217)^2 + 13,8 \cdot 10^{-4} (0,0217 + 0,5 \cdot 0,008)^2}{5 \cdot 0,0177 - 0,0217} = 41 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

Максимальное напряжение в ребрах на изгиб определяем по формуле (16.39)

$$\sigma_{из} = \frac{0,13 D^2 p}{z W_{pc}} = \frac{0,13 \cdot 1^2 \cdot 0,3}{6 \cdot 41 \cdot 10^{-6}} = 158 \text{ МПа/м}^2 (1580 \text{ кгс/см}^2),$$

что $\approx 1,1 \sigma_{ад} = 1,1 \cdot 140 = 154 \text{ МПа/м}^2$ с превышением на 2,5%.

Окончательно принимаем размеры ребер $s_p = 18 \text{ мм}$ и $h_p = 5 \cdot 18 = 90 \text{ мм}$.

16.5. ПЛОСКИЕ ПРЯМОУГОЛЬНЫЕ ДНИЩА

При конструировании и расчете плоских прямоугольных дниц рекомендуется руководствоваться данными, изложенными в п. 15.2.

Конструкция плоских прямоугольных дниц для аппаратов, работающих под избыточным давлением (сварных и литых), должна иметь профиль типа плоских круглых дниц с отбортовкой (см. рис. в табл. 16.34). При этом $R_n \geq 5s$.

Технология изготовления таких дниц для сварных аппаратов — штамповка.

Конструкция плоских прямоугольных дниц для сварных аппаратов, работающих под наливом и атмосферным давлением, аналогична конструкции, показанной на рис. 16.13.

Допускаемые отклонения размеров дниц рекомендуются по 9-му классу точности.

16.6. ПЛОСКИЕ КОЛЬЦЕВЫЕ ДНИЩА

Плоские кольцевые дница с опорами по внутреннему и наружному периметрам, подверженные давлению или без давления, применяются в химических аппаратах в виде собственно дниц, перегородок, различных тарелок и т. д. Кольцевые дница могут быть неукрепленные и укрепленные (обычно радиальными ребрами).

На рис. 16.16 показаны основные типовые конструкции кольцевых дниц, применяемых в сварной химической аппаратуре.

При конструировании и расчете плоских кольцевых дниц рекомендуется руководствоваться данными, изложенными в п. 16.4.

Расчет кольцевых дниц, работающих под внутренним или наружным давлением производится следующим образом. Номинальную расчетную толщину плоской стенки

неукрепленного дница s' в м (см) можно определять по приближенной формуле [58]

$$s' = 0,25 (D_o - D_{o1}) \sqrt{\frac{p}{\sigma_{ад} \Phi_0}}, \quad (16.43)$$

где D_o и D_{o1} — соответственно больший и меньший диаметры дница в м (см);

Φ_0 — коэффициент ослабления дница в радиальном направлении отверстиями. При отсутствии отверстий или при полностью укрепленных отверстиях $\Phi_0 = 1$.

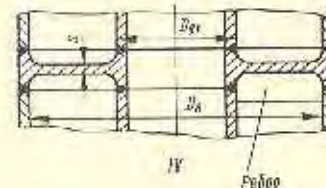
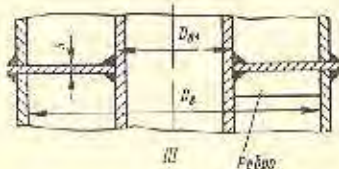
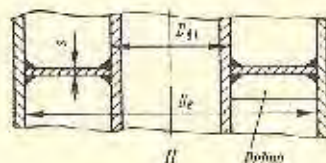
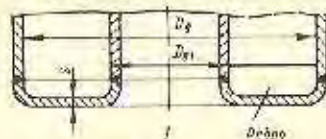
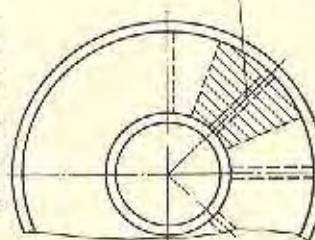


Рис. 16.16. Основные типовые конструкции кольцевых дниц в сварных аппаратах. Слева дница неукрепленные, справа — укрепленные радиальными ребрами



Номинальную расчетную толщину плоской стенки укрепленного радиальными ребрами дница s' в м (см) можно определять по формуле

$$s' = 0,5 \frac{D_o \sin\left(\frac{180^\circ}{z}\right)}{1 + \sin\left(\frac{180^\circ}{z}\right)} \sqrt{\frac{p}{\sigma_{ад} \Phi_0}}, \quad (16.44)$$

где z — число радиальных ребер. Рекомендуется принимать кратное четырем, но не менее $z = 8$, большая величина — для соответственно больших диаметров дниц.

Определение расчетного давления p (пускаемого напряжения на изгиб $\sigma_{уд}$ — см.) до- Толщина плоской стенки днища с учетом определяется по формуле (15.10). Выбор двок в п. 15.1. В любом случае толщину плоской с см. рекомендуется принимать не менее толщины со- Радiallyные ребра цилиндрической обечайки со- прилегающей с днищем цилиндрической могут быт- ны, как балки на двух опорах, воспринимающие да- от давления на соответствующий плоский элемент жу- вого днища (см. заштрихованную часть на рис. 15.10). При этом, по аналогии с расчетом ребер в плоско- угольных и круглых стенках (см. п. 15.2 и 16.4) ре- тельно принимается, что ребра (без учета наличия, стенки днища) воспринимают половину нагрузки, ло- жущей на указанный элемент днища с последующей веркой и корректировкой расчета (в случае необ- сти), считая работу ребер совместно с частью п- стенки днища.

Максимальные изгибающие моменты M_u в (кас. см) для одного ребра и предварительные рас- моменты сопротивления ребер W'_p в $м^3 (см^3)$, будут при жестко закрепленном ребре по краям (в а- закреплении)

$$M_u = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{(D_o^2 - D_{o1}^2)}{z} \cdot \frac{p}{2} \cdot \frac{(D_o - D_{o1})}{2.8} = 0.0245 \frac{(D_o^2 - D_{o1}^2)(D_o - D_{o1})p}{z};$$

$$W'_p = \frac{M_u}{\sigma_{уд}} = 0.0245 \frac{(D_o^2 - D_{o1}^2)(D_o - D_{o1})}{z\sigma_{уд}} p; \quad (16.46)$$

при свободно опертом ребре по краям (посередине ребра)

$$M_u = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{(D_o^2 - D_{o1}^2)}{z} \cdot \frac{p}{2} \cdot \frac{(D_o - D_{o1})}{2.4} = 0.0123 \frac{(D_o^2 - D_{o1}^2)(D_o - D_{o1})}{z} p; \quad (16.47)$$

$$W'_p = \frac{M_u}{\sigma_{уд}} = 0.0123 \frac{(D_o^2 - D_{o1}^2)(D_o - D_{o1})}{z\sigma_{уд}} p. \quad (16.48)$$

Момент сопротивления составного поперечного сече- ния ребра с частью плоской стенки W_{pc} , приходящейся на одно ребро (см. рис. 15.23), определяется по формуле (15.77), а площадь поперечного сечения указанной части плоской стенки — по формуле (15.78), в которой значение $x = \frac{\pi D_{o1}}{z} (D_{o1} - \text{меньший диаметр кольцевого днища}).$

Максимальное напряжение на изгиб в укрепляющих ребрах σ_u в $МПа (кгс/см^2)$ должно отвечать условиям: при жестком закреплении ребер по краям

$$\sigma_u = \frac{0.049 (D_o^2 - D_{o1}^2)(D_o - D_{o1})p}{z W_{pc}} \leq 1.1 \sigma_{уд}; \quad (16.49)$$

при свободно опертых ребрах

$$\sigma_u = \frac{0.0245 (D_o^2 - D_{o1}^2)(D_o - D_{o1})p}{z W_{pc}} \leq 1.1 \sigma_{уд}. \quad (16.50)$$

В случае невыполнения условий (16.49) или (16.50), а также при $\sigma_u < \sigma_{уд}$ предварительно определенное по- перечное сечение ребер или число их рекомендуется соот- ветственно изменить.

Пример 16.9. Определить толщину укрепленного радиальными ребрами кольцевого днища (см. рис. 16.16, I), а также поперечное сечение укрепляющих ребер по следу- ющим данным: материал днища и ребер — медь марки М3 ($\sigma_{уд} = 57 \text{ МПа}$); $C_K = 0$; $D_o = 1,0 \text{ м}$; $D_{o1} = 0,3 \text{ м}$; $p = 0,3 \text{ МПа}$ (3 кгс/см^2); число ребер $z = 12$; днище без отверстий ($\Phi_0 = 1$).

Номинальную расчетную толщину плоской стенки днища определяем по формуле (16.44)

$$s' = 0,5 \frac{D_o \sin\left(\frac{180^\circ}{z}\right)}{1 + \sin\left(\frac{180^\circ}{z}\right)} \sqrt{\frac{p}{\sigma_{уд} \Phi_0}} = 0,5 \frac{1 \cdot \sin \frac{180^\circ}{12}}{1 + \sin \frac{180^\circ}{12}} \sqrt{\frac{0,3}{57 \cdot 1}} = 7,4 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 7,4 \text{ мм}.$$

Выбираем прибавку на округление размера до бли- жайшего большего по сортаменту $C_o = 0,6 \text{ мм}$.

Толщину стенки с учетом прибавки определяем по- формуле (15.10)

$$s = s' + C_o = 7,4 + 0,6 = 8 \text{ мм}.$$

Считая ребра жестко закрепленными по краям, опре- делим предварительный расчетный момент сопротивления ребра по формуле (16.46)

$$W'_p = 0,0245 \frac{(D_o^2 - D_{o1}^2)(D_o - D_{o1})p}{z\sigma_{уд}} = 0,0245 \frac{(1^2 - 0,3^2)(1 - 0,3)0,3}{12 \cdot 57} = 6,84 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Выбираем укрепляющие ребра прямоугольного се- сь с отношением толщин к высоте 1/5. Номинальную расчетную толщину ребра определяем по формуле (15.76)

$$s' = 0,62 \sqrt[3]{W'_p} = 0,62 \sqrt[3]{6,84 \cdot 10^{-6}} = 11,8 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 11,8 \text{ мм}.$$

Проверим максимальное напряжение в ребрах. Предварительно находим:

$$s'_p \cdot 5s'_p = 0,0118 \cdot 5 \cdot 0,0118 = 6,97 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$J_p \frac{s'_p (5s'_p)^3}{12} = \frac{0,0118 (5 \cdot 0,0118)^3}{12} = 20,3 \cdot 10^{-9} \text{ м}^4;$$

$$F_c = \frac{\pi D_{o1}}{z} (s - C_K) = \frac{\pi \cdot 0,3}{12} \cdot 0,008 = 6,29 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$J_c = \frac{\pi D_{o1}}{z \cdot 12} (s - C_K)^2 = \frac{\pi \cdot 0,3 \cdot 0,008}{12 \cdot 12} = 0,333 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4;$$

по формуле (15.79)

$$y = \frac{F_p J_p - F_c (s - C_K)}{2(F_p + F_c)} = \frac{6,97 \cdot 10^{-4} \cdot 5 \cdot 0,0118 - 6,29 \cdot 10^{-4} \cdot 0,008}{2(6,97 + 6,29) \cdot 10^{-4}} = 13,8 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 13,8 \text{ мм};$$

по формуле (15.77)

$$W_{pc} = \frac{J_p + J_c + F_p (0,5h_p - y)^2 + F_c [y + 0,5(s - C_k)]^2}{h_p - y} =$$

$$\frac{20,3 \cdot 10^{-8} + 0,333 \cdot 10^{-8} + 6,97 \cdot 10^{-4} (0,5 \cdot 5 - 0,0118 - 0,0138)^2 + 6,29 \cdot 10^{-4} (0,0138 + 0,5 \cdot 0,008)^2}{5 \cdot 0,0118 - 0,0138} =$$

$$= 15,35 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3.$$

Максимальное напряжение в ребрах на изгиб определяем по формуле (16.49)

$$\sigma_{из} = \frac{0,049 (D_в^2 - D_{в1}^2) (D_в - D_{в1}) \rho}{z W_{pc}} =$$

$$= \frac{0,049 (1^2 - 0,3^2) (1 - 0,3) 0,3}{12 \cdot 15,35 \cdot 10^{-8}} =$$

$$= 51 \text{ Мн/м}^2 (510 \text{ кгс/см}^2) < 1,1 \cdot 57 =$$

$$= 62,6 \text{ Мн/м}^2 (626 \text{ кгс/см}^2).$$

т. е. условие прочности обеспечено.

Округляем предварительные расчетные размеры ребра и принимаем их: $s_p = 12 \text{ мм}$ и $h_p = 58 \text{ мм}$.

Производим проверочный расчет:

$$F_p = 1,2 \cdot 10^{-2} \cdot 5,8 \cdot 10^{-2} = 6,96 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$J_p = \frac{1,2 \cdot 10^{-2} (5,8 \cdot 10^{-2})^3}{12} = 19,5 \cdot 10^{-9} \text{ м}^4;$$

$$F_c = 6,29 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$J_c = 0,333 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4;$$

$$y = \frac{6,96 \cdot 10^{-4} \cdot 0,058 - 6,29 \cdot 10^{-4} \cdot 0,008}{2(6,96 + 6,29) \cdot 10^{-4}} = 0,0133 \text{ м};$$

$$W_{pc} = \frac{19,5 \cdot 10^{-9} + 0,333 \cdot 10^{-8} + 6,96 \cdot 10^{-4} (0,5 - 0,058 - 0,0133)^2 + 6,29 \cdot 10^{-4} (0,0133 + 0,5 \cdot 0,008)^2}{(5,8 - 1,33) \cdot 10^{-2}} =$$

$$= 12,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3;$$

$$\sigma_{из} = \frac{0,049 (1^2 - 0,3^2) (1 - 0,3) 0,3}{12 \cdot 12,5 \cdot 10^{-8}} =$$

$$= 62,3 \text{ Мн/м}^2 \approx 62,5 \text{ Мн/м}^2.$$

16.7. ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ДНИЩА

Для цилиндрических сварных аппаратов, работающих под давлением и атмосферным давлением или с избыточным давлением не более $0,07 \text{ Мн/м}^2$ и при температуре

среды не более 50°С , можно применять так называемые цилиндрические днища (рис. 16.17).

Такие днища представляют собой часть цилиндрической обечайки, которая ограничивает обечайку корпуса аппарата того же диаметра при сопряжении их друг с другом под прямым углом.

При этом соединении днища с обечайкой корпуса должно осуществляться двусторонним сварным швом или односторонним швом с подваркой (с внутренней стороны).

В отдельных случаях цилиндрические днища в аппаратах диаметром $D_в \leq 1200 \text{ мм}$ по согласованию с Госгортехнадзором могут применяться в аппаратах неотвественного назначения и для избыточных давлений больших чем $0,07 \text{ Мн/м}^2$. Применение указанных днищ для избыточных давлений больше $0,16 \text{ Мн/м}^2$ не рекомендуется.

Преимуществом цилиндрических днищ является относительная простота их изготовления. Вместе с тем, они имеют и существенный недостаток — наличие концентрации напряжений (оцениваемая примерно в 1,7 раза от номинальных) в местах перехода одной криволинейной поверхности в другую [15].

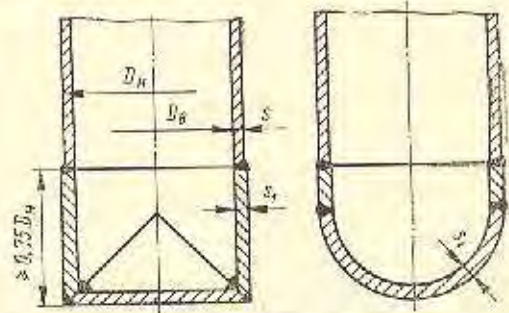


Рис. 16.17. Конструкция цилиндрического днища в сварных аппаратах. Справа при базовом $D_{в1}$, слева — при базовом $D_{в}$.

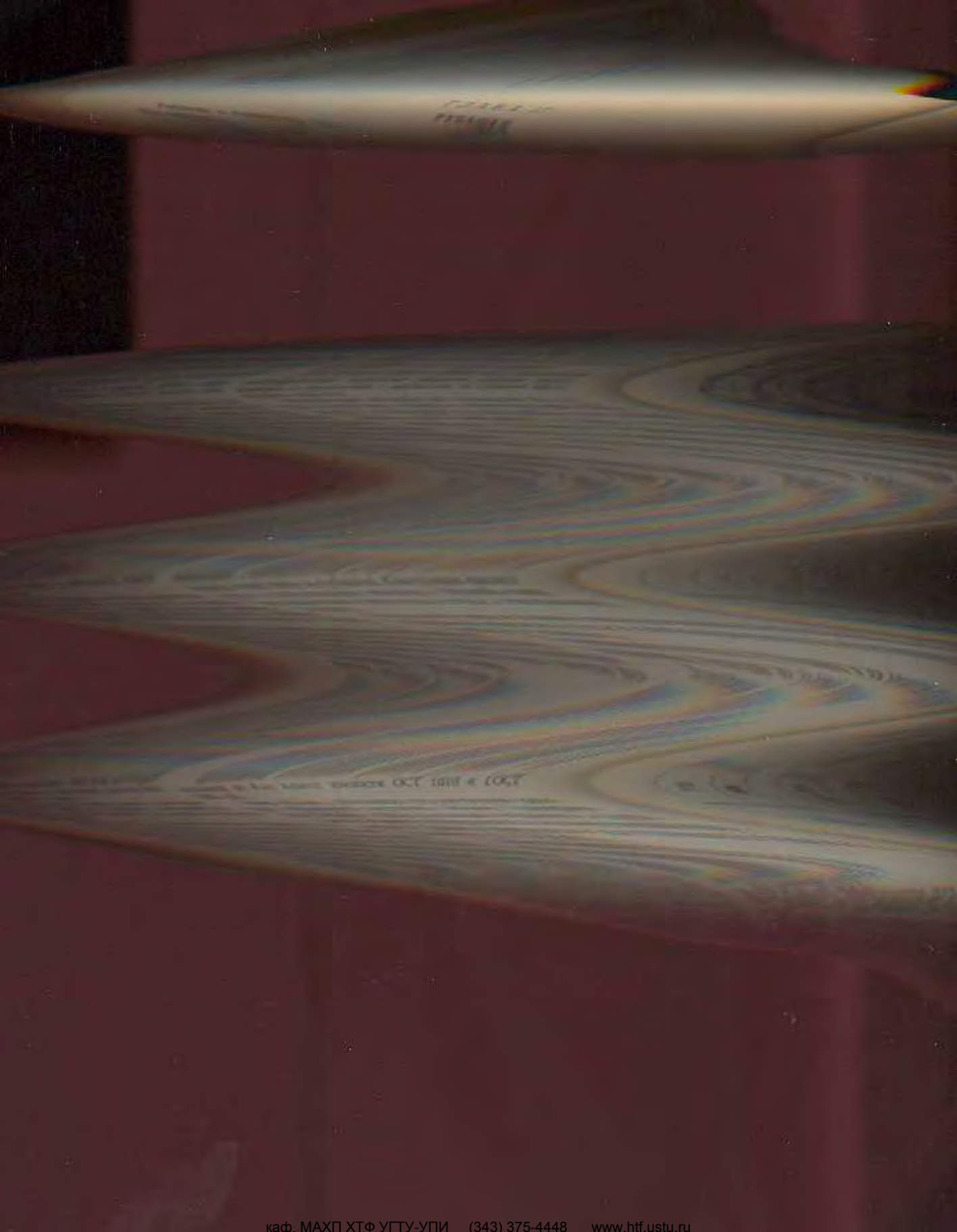
Поэтому для равнопрочности цилиндрических днищ с цилиндрическим корпусом аппарата коническую обечайку его и днище соответственно утолщают (исходя из номинальных расчетных значений толщин, $s_1 = 1,7s'$, где s' — номинальная расчетная толщина обечайки корпуса, а s_2 — номинальная расчетная толщина днища и утолщенной обечайки корпуса).

Внутренняя поверхность части корпуса аппарата длиной $0,5D_в$, включая поверхность цилиндрического днища,

$$F_в = 2D_в^2 \text{ м}^2, \quad (16.51)$$

емкость той же части аппарата, ограниченной цилиндрическим днищем,

$$V = 0,334D_в^3 \text{ м}^3. \quad (16.52)$$



РУБАШКИ

Рубашки в химических аппаратах предназначаются для паружного нагрева или охлаждения обрабатываемых или хранящихся в аппарате главным образом жидких продуктов.

Рубашки могут устанавливаться на цилиндрических вертикальных и горизонтальных аппаратах. Наибольшее применение они имеют на вертикальных цилиндрических аппаратах.

По конструкции рубашки бывают неразъемные и отъемные. Первые применяются преимущественно в сварной и паяной аппаратуре (привариваются или припаиваются к корпусу аппарата), вторые — в сварной, литой и ковальной аппаратуре (присоединяются к корпусу аппарата при помощи фланцев).

В сварной и паяной аппаратуре предпочтительно применять неразъемные рубашки. Отъемные — рекомендуется применять в тех случаях, когда по условиям эксплуатации требуется периодическая чистка корпуса, закрытого рубашкой, или это вызывается какими-либо другими соображениями, например невозможностью приварки рубашек к корпусу (в тугоплавных аппаратах), необходимостью периодического осмотра корпуса и внутренней поверхности рубашек и др.

В табл. 17.1—17.4 приведены основные данные о нормализованных неразъемных рубашках из углеродистой стали, применяемых в сварной вертикальной цилиндрической аппаратуре для избыточных давлений в рубашке до $6,4 \text{ Мн/м}^2$ и рабочих температур от минус 40 до плюс 350°С .

Предусмотренные указаниями нормальными отбортованные элементы рубашек допускается выполнять в виде соответствующих приварных воротников, при этом цилиндрическая часть прямого участка у воротника должна быть не менее трех толщин его стенок.

Кольцевые и продольные сварные швы на цилиндрических обечайках аппарата и рубашки с вмятинами располагаются между вмятинами и не должны пересекать их сварные швы.

Толщина стенок в нормализованных рубашках (см. табл. 17.1 и 17.2) принята с учетом прибавки на коррозию $S_k = 1 \text{ мм}$. Толщина стенок аппарата и рубашек с круглыми вмятинами и из полутруб (см. табл. 17.3 и 17.4) определена исходя из совместного действия давления в аппарате и рубашке без учета прибавки на коррозию и при условии избыточного давления в аппарате $0,6 \text{ Мн/м}^2$.

Допускается изготовление рубашек с вмятинами и из полутруб на расчетные давления в них меньшие чем $2,5 \text{ Мн/м}^2$ и расчетные давления в аппарате меньшие или большие чем $0,6 \text{ Мн/м}^2$. В этих случаях размеры рубашек, за исключением толщин стенок аппарата и рубашки, сохраняются по соответствующим нормальным, толщина же стенок аппарата и рубашки должна быть определена расчетом на требуемые давления с учетом прибавок в зависимости от среды и конструктивного материала.

В табл. 17.5—17.7 приведены основные данные о нормализованных отъемных рубашках из углеродистой и легированной сталей, применяемых в сварной, ковальной и литой цилиндрической вертикальной аппаратуре для избыточных давлений в рубашке до 1 Мн/м^2 и рабочих температур от минус 40 до плюс 360°С . Толщина стенок этих нормализованных рубашек приведена без учета прибавки на коррозию и должна быть определена при конструировании аппарата в зависимости от среды и конструктивного материала.

Во всех нормализованных рубашках количество и размеры опор, штуперов, отбойников, их конструктивные

решение и взаимное расположение нормальными не регламентируется и устанавливается при конструировании аппарата применительно к его конкретным техническим данным. В частности, опоры для указанных аппаратов большей частью устанавливаются на рубашке (на цилиндрической обечайке — в виде лап или на днище — в виде стоек). Вместе с тем, возможно предусматривать опоры аппарата и вне рубашки, например, в верхней части его особенно при отъемных рубашках, если это связано с удобством разборки и чистки корпуса аппарата.

При конструировании рубашек для горизонтальных цилиндрических аппаратов диаметры рубашек следует выбирать в соответствии с нормальными на рубашки вертикальных аппаратов.

Горизонтальные аппараты при размещении их в рубашке должны иметь внутри ее соответствующие опоры (жесткие и скользящие) для восприятия силы тяжести аппарата и его содержимого, а также — иметь свободу перемещения относительно рубашки при температурных расширениях. Это обеспечивается при жестком закреплении аппарата в рубашке только с одной стороны или посередине. Горизонтальные аппараты с рубашками, как правило, имеют опоры на рубашках. Конструкция нижнего слуска из горизонтального аппарата с рубашкой может быть аналогичной конструкции слуска в вертикальных аппаратах.

Все сказанное выше в равной степени относится как к стальным аппаратам, так и к аппаратам из цветных металлов и сплавов.

Толщина стенок рубашек и их элементов определяется расчетом, исходя из условия прочности.

Допускаемые отклонения размеров рубашек и их элементов по 8 му классу точности ОСТ 1010 и ГОСТ 2689—54.

Расчет рубашек, работающих под внутренним давлением, производится следующим образом. Цилиндрические обечайки, днища, фланцевые соединения и другие детали рубашек рассчитываются по соответствующим формулам и данным, приведенным для указанных узлов и деталей в гл. 15, 16 и 21.

Для аппаратов с рубашками, имеющими круглые вмятины на цилиндрической обечайке и днище, номинальная расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки и днища аппарата s' в м (см) определяется по формуле [167]

$$s' = 0,15 \frac{p}{\psi_m \sigma_d} D_n + t \sqrt{\frac{p p_r}{5 \psi_{mp} \sigma_{dp}}}, \quad (17.1)$$

где D_n — внутренний диаметр цилиндрической обечайки аппарата в м (см);

p — расчетное давление внутри аппарата в Мн/м^2 (кгс/см^2);

p_r — расчетное давление в рубашке в Мн/м^2 (кгс/см^2);

t — наименьшее расстояние между центрами соседних вмятин в м (см);

σ_d — допускаемое напряжение на растяжение для материала корпуса аппарата в Мн/м^2 (кгс/см^2);

σ_{dp} — допускаемое напряжение на растяжение для материала рубашки в Мн/м^2 (кгс/см^2);

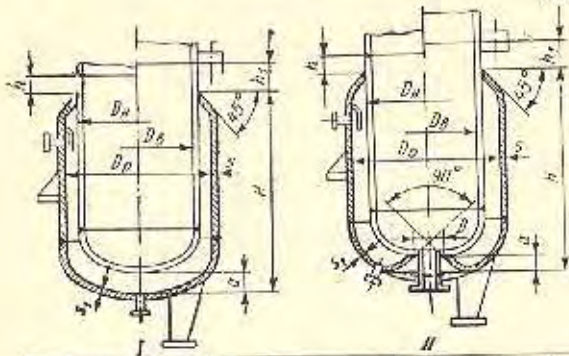
ψ_m — коэффициент прочности продольного сварного шва на днище корпуса аппарата (меньшее значение);

ψ_{mp} — коэффициент прочности таврового сварного шва соединения вмятины с корпусом аппарата, принимается $\psi_{mp} = 0,8$.

* Рубашки по табл. 17.3 — до рабочих температур плюс 280°С , а 17.4 — до рабочих температур плюс 250°С .

Таблица 17.1

Рубашки неразъемные из углеродистой стали с эллиптическим отбортованным дном
(по ОН 26-01-73-68)



Условное обозначение рубашки $D_p = 800$ мм, $H = 600$ мм, $s = 4$ мм, $s_1 = 6$ мм, исполнения 1: «Рубашка 1-800-600-4/6 ОН 26-01-73-68»

D_n, D_o^*	D_p^*	D	H	h	h_1	a	Расчетное давление в рубашке p_p , МПа/кгс								R^*, M^2											
							0,3		0,6		1,0		1,6													
							s	s_1	s	s_1	s	s_1	s	s_1												
мм																										
273	325	100	180 310	50	50	20	4	6	6	6	6	6	6	0,15 0,25												
325	377		320 420											70	10	10	10	5	10	0,3 0,45						
377	426		400 470											80	4	4	4	6	6	6	0,55					
400	450		400 720											100							4	4	4	6	6	0,5 0,9
500	550		420 510 720																							0,65 0,75 1,1
600	650		495 800 900											50	4	6	6	6	6	6	0,95 1,5 1,7					
700	800	600 800 930	130	30	6	5	6	8	8	1,3 1,8 2,0																
800	900	725 925 1245								1,9 2,4 3,2																
900	1000	650 895 1430								6	5	6	8	8							1,9 2,7 4,1					
1000	1100	765 1280 1565	140	30	6	6	8	8	—	2,5 4,5 5,0																
1200	1300	840 1480 1740								6	8	8	—	—							3,4 5,8 6,7					

Продолжение табл. 17.1

D_N , D_a^*	D_p^*	D	H	h	h_1	a	Расчетное давление в рубашке p_p , $Мк/м^2$								P^* , $к^2$
							0,3		0,6		1,0		1,6		
							s	s_1	s	s_1	s	s_1	s	s_1	
<i>мм</i>															
1400	1500	220	1380 1680 2080	50	140	30	5	6	6	8	8	8			6,5 7,8 9,3
1600	1700		1595 1730 2145	60					8	10	8,5 9,3 11,3				
1800	1900		1645 1995 2195	8					10	9,4 12,0 14,8					
2000	2200	280	1915 2230 2580	80	200	40	6	8							13,0 15,0 17,0
2200	2400		2200 2750 2970	100											16,0 20,0 22,0
2400	2600		2650 2950 3190	8											10	21,0 23,5 25,5
2600	2800	3100 3900 4900	150	250			8	10							27,0 33,5 40,0
2800	3000	2960 3390 4190	27,5 31,5 38,0												
3000	3200	2980 3710 4710	31,5 35,5 39,0												

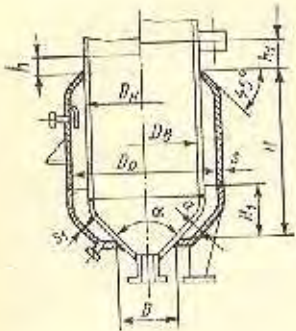
Примечания:

1. Пределы применения рубашек по температуре: от минус 40 до плюс 350°С — при $p \leq 0,6$ $Мк/м^2$, от минус 40 до плюс 200°С — при $p > 0,6$ $Мк/м^2$.
2. Рубашки выполняются в двух исполнениях: исполнение I — при верхнем выпуске продукта из аппарата, исполнение II — при нижнем выпуске продукта из аппарата.
3. Размеры h и h_1 , указанные минимальные и в зависимости от выполнения рабочей средой в аппарате могут быть увеличены.
4. Допускается применение рубашек с приварными воротниками (место отбортовки). Цилиндрическая часть прямого участка воротника в этом случае должна быть не менее трех толщин стенки рубашки.
5. Допускается приваривать к внутренним поверхностям рубашек направляющие устройства.
6. При установке рубашки на аппарате из нержавеющей стали следует предусмотреть отдельные приварные воротники из нержавеющей стали в местах приварки рубашки к нержавеющей корпусу аппарата.
7. При установке штуцеров на корпус аппарата через рубашку последнюю в этом месте следует вырезать и отбортовать с последующей приваркой отбортованной части к корпусу аппарата.
8. Толщины стенок обечейки и днищ рубашек s и s_1 приведены для стали марки ВМ Ст.3сп. При других марках стали указанные толщины определяются расчетом.

* D_N — для значений ≤ 377 мм; D_a — для значений ≥ 400 мм; D_p — внутренний диаметр для $D_a \geq 400$ мм; наружный диаметр для $D_N \leq 377$ мм; P — поверхность теплообмена части аппарата, закрытого рубашкой.

Таблица 17.2

Рубашки неразъемные из углеродистой стали с коническим отбортованным дном
(по ОН 26-01-74-68 и ОН 26-01-75-68)



Условное обозначение рубашки $D_p = 800$ мм, $\alpha = 90^\circ$, $H = 900$ мм, $s = 4$ мм, $s_1 = 6$ мм: «Рубашка 800-900-4/6 ОН 26-01-74-68»

D_k D_e	При $\alpha = 90^\circ$							При $\alpha = 60^\circ$												
	D	H	H_1	Расчетное давление в рубашке p_p , МПа/мм ²				F^* , мм ²	D	H	H_1	Расчетное давление в рубашке p_p , МПа/мм ²				F^* , мм ²				
				0,3	0,6	1,0	1,6					0,3	0,6	1,0	1,6					
	мм							мм												
273	75	285	150	4	4	4	6	0,25	75	350	225	4	4	6	0,25					
325			180													0,3	365	270	0,4	
377		210	0,7													455	315	0,65		
400	100	470	215			6	6**	0,65	95	590	420			0,8		6**	0,75			
500		530																270	765	330	1,0
600	150	635	325			6	8**	1,1	135	950	575			1,4		8**	1,7			
700																		595	370	1150	575	2,2
800		760	425															1415	655	2,7
900	150	855	480			8	10	2,3	1125	750	2,6			1240		840	6	6	8	2,0
1000	150	1000	535	6	6	2,9	1125	750	3,8	1240	840	6	6	8	2,8					
																1265	535	1330	655	2,8
1200	150	1140	650	8**	—	3,9	1510	1020	6,2	1895	1020	8	—	—	4,3					
																1975	650	2105	840	5,7
																2475	650	2380	—	7,5

$D_{и}$ $D_{е}^*$	При $\alpha = 90^\circ$							При $\alpha = 60^\circ$								
	D	H	H_1	Расчетное давление в рубашке p_p , МПа/мм ²				F^* , мм ²	D	H	H_1	Расчетное давление в рубашке p_p , МПа/мм ²				F^* , мм ²
				0,3	0,6	1,0	1,6					0,3	0,6	1,0	1,6	
	мм								мм							
1400	175	1590 1870 2390	745	6	6	10 **	6,6 7,8 9,9	150	1835 2035 2435	1190	6	6	8	6,3 7,2 8,7		
1600		1900 2150 2300	855	8	8		8,8 10,1 11,0		2225 2415 2665	1370	8	8		8,8 9,8 11,0		
1800	210	2000 2410 2810	950				10,5 12,8 15,1	195	2410 2560 2970	1510				10,5 11,5 13,5		
2000		2455 2980 3120	1130	8 **			13,9 17,1 18,0		3120 4615 6015	1795	8 **				16,0 20,0 35,5	
2200		2210 2600 3120	1240				13,5 16,2 19,8		2710 3105 3335	1975				14,0 17,0 18,5		
2400		2910 3315 3585	1355	10			20,0 24,0 26,0		2885 3285 3485	2155				16,0 19,0 20,5		
2600		3075 3395 4075	1465				22,5 25,0 31,0		3015 3440 3950	2340				17,3 21,5 26,0		
2800		3390 3750 4180	1580	10 **			27,0 30,0 34,0		3805 4330 5120	2520				25,5 30,0 37,0		

Примечания:

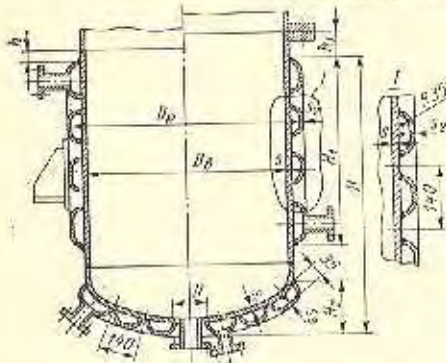
1. Рубашки с углом конуса $\alpha = 90^\circ$ — по ОН 26-01-74—68, $\alpha = 60^\circ$ — по ОН 26-01-75—68.
2. Пределы применения рубашек по температуре, а также размеры D_p , h , h_1 , s и a см. в табл. 17.1.
3. См. примечания 3-8 в табл. 17.1.

* $D_{и}$ — для значений ≤ 377 мм; $D_{н}$ — для значений ≥ 400 мм; D_p — внутренний диаметр для $D_p \geq 400$ мм; наружный диаметр для $D_{и} \leq 377$ мм; F — поверхность теплообмена части и аппарата закрытого рубашкой.

** Толщины стенок по расчету по ГОСТу 12619—67 не предусмотрены.

Таблица 17.3

Рубашки неразъемные из углеродистой стали с круглыми вымятиями на цилиндрической обечайке и эллиптическом днище корпуса аппарата (по ОН 26-01-77-68)



Условное обозначение рубашки $D_p = 1670$ мм, $H = 1760$ мм, $s_2 = 10$ мм, $s_3 = 10$ мм: «Рубашка 1670-1760-10/10 ОН 26-01-77-68»

D_e	D_p	D	H	H_1	H_2	h	h_1	Расчетное давление в рубашке p_p , МПа/ат						F , м ²	
								2,5		3,2		4,0			F , м ²
								s_2 и s_3	s_2 и s_3	s_2 и s_3	s_2 и s_3	s_2 и s_3	s_2 и s_3		
мм															
1600	1670	200	1595 1760 2145	1090 1255 1640	445	60	140	10	14	16	18	14	5,4 5,5 6,9		
1800	1870	410	1645 1995 2495	1090 1440 1940	495								5,9 7,3 8,9		
2000	2070	370	1915 2230 2580	1310 1625 1975	545	80	200	14	16	18	14	8,0 9,4 10,4			
2200	2270	350	2200 2750 2970	1545 2095 2315	595							9,8 12,2 13,3			
2400	2470	310	2650 2950 3190	1945 2245 2485	645	100	250	16	16	18	14	12,8 14,2 15,2			
2600	2670	280	3100 3900 4900	2345 3145 4145	695	16,2 20,4 24,8									
2800	2870	240	2960 3390 4190	2155 2585 3385	745	150	250	16	16	18	14	16,0 19,3 23,3			
3000	3070	470	2980 3710 4710	2125 2855 3855	795							18,2 22,5 28,1			

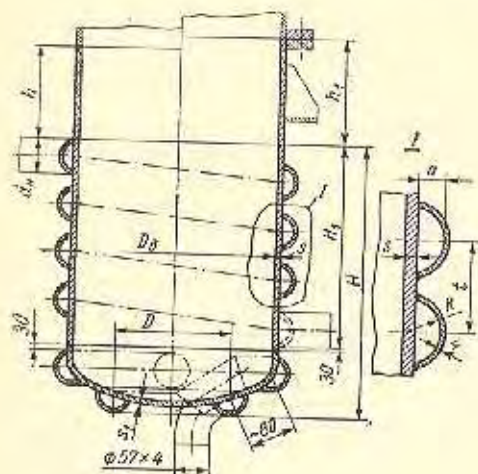
Примечания:

1. Пределы применения рубашек по температуре среды в рубашке от минус 40 до плюс 250° С.
2. Размеры h и h_1 указаны минимальные и в зависимости от запаса прочности рабочей среды в аппарате могут быть увеличены.
3. Расположение вымятия на рубашке коридорное.
4. Сварные швы на рубашке должны располагаться между вымятиями и не пересекать их.
5. В случае применения подкладных листов под опоры, расположенные на рубашке, в них против вымятия следует предусмотреть соответствующие окна.
6. При установке анкеров на корпусе аппарата через рубашку последнюю в этом месте следует вырезать и отбортовать с последующей приваркой отбортованной части к корпусу аппарата.
7. Толщины стенок обечайки и днищ рубашек s_1 и s_2 приведены для стали марки ВМ Ст.3сп. При других марках стали указанные толщины определяются расчетом.

* F — поверхность теплообмена части аппарата, закрытого рубашкой.

Таблица 17.4

Рубашки неразъемные из углеродистой стали из полуторуб на цилиндрической обечайке и эллиптическом дне корпуса аппарата (по ОН 26-01-76—68)



Условное обозначение рубашки для аппарата $D_n = 1200$ мм, $H = 800$ мм, $R = 24,5$ мм: «Рубашка 1200—800—24,5 ОН 26-01-76—68»

D_n	D	H	H_1	h	h_1	Расчетное давление в рубашке p_p , МПа/мм ²															
						0,6		1,0		1,6		2,5		3,2		4,0		6,4		$\leq 1,6$	2,5— —6,4
						s	s_1	s	s_1	s	s_1	s	s_1	s	s_1	s	s_1	s	s_1		
						мм														F^* , мм ²	
600	352	540 740 910	300 500 700	270	320									6	6			10	10		0,7 1,0 1,2
700	314	515 665 865	250 400 600			350															
800	280	740 1040 1340	450 750 1050	320	400																1,4 2,0 2,6
900	238	765 1215 1365	450 900 1050									6	6					8	8	12	12
1000	358	830 1030 1530	490 690 1190	380	460									8	8						2,0 2,4 3,6
1200	305	800 1230 1780	490 840 1470																		
1400	380	1370 1770 2070	530 1330 1630	440	520					8	8										2,5 3,5 5,0
																					5,6 7,4 8,7
																					4,6 5,9 6,9

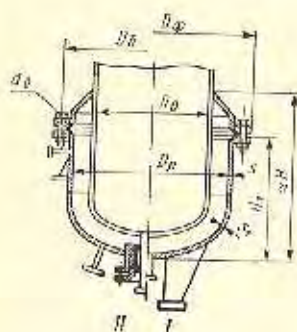
Расчетное давление и рубашке p_p , Мн/м ²																						
D	H	H ₁	R	H ₂	0,6		1,0		1,6		2,5		3,2		4,0		6,4		<1,6		2,5-6,4	
					s	s ₁	s	s ₁	s	s ₁	s	s ₁	s	s ₁	s	s ₁	s	s ₁	s	s ₁	F*, м ²	
	332	1380 1780 2180	980 1290 1690	480	560					8											5,4 7,0 8,6	5,3 6,8 8,3
	256	1775 2075 2475	1235 1535 1935		630											10					8,0 9,3 11,1	7,8 9,4 11,2
	356	2230 2330 2830	1620 1920 2220		550			6	8												12,5 14,0	10,8 12,2 13,7
	336	2220 2520 2820	1550 1850 2150		620	720															12,1 13,7 15,3	11,8 13,4 14,9
	258	2390 3190 3390	1670 2170 2670				6			8					10		14	14			14,4 19,0 20,2	14,0 18,5 19,6
	330	2540 2840 3840	1770 2070 3070		700	800		8								12					15,6 18,6 24,6	16,2 18,0 24,1
	300	2790 2990 3990	1970 2170 3170					8	10												19,6 21,0 27,1	19,2 20,5 27,0
	252	3450 4050 4850	2570 3170 4970		800	900	8														26,0 30,4 43,5	25,2 29,4 42,2

Примечания:

1. Пределы применения рубашек по температуре среды и рубашке от минус 40 до плюс 260° С.
2. Размеры H и H_1 указаны минимальные и в зависимости от заполнения рабочей средой в аппарате могут быть увеличены.
3. Значения d_n , R , l и a в зависимости от p_p : при $p_p \leq 1,6$ Мн/м² $d_n = 89$ мм, $R = 40,5$ мм, $l = 115$ мм и $a = 35$ мм; при $p_p = 2,5-6,4$ Мн/м² $d_n = 87$ мм, $R = 24,5$ мм, $l = 75$ мм и $a = 20$ мм.
4. Рубашку из полутруб на обечайке допускается выполнять одно- или многозаходной с углом наклона витков не более 5°, а также из отдельных частей по высоте со входными и выходными штуцерами. В отдельных случаях для аппаратов $D_s \leq 1400$ мм допускается витки из полутруб на цилиндрической обечайке соединять с витками на эллиптической днище.
5. Толщины стенок обечайки и днища аппарата s и s_1 присведены для стали марки ВМСт.3сп (при $p_p = 6,4$ Мн/м² — сталь 20К). При других марках стали указанные толщины определяются расчетом.

* F — поверхность теплообмена части аппарата, закрытого рубашкой.

Рубашки отъемные с эллиптическим отбортованным днищем стальные (по МН 4061—62)



Условное обозначение рубашки типа I с $D_p = 800$ мм, $H_1 = 715$ мм на $p_p = 1$ МПа/мм²:
«Рубашка I-800-715-10 МН 4061—62»

D_0	H	H_1	Расчетное давление в рубашке p_p , МПа/мм ²										
			0,1		0,3		0,6		1,0				
			m_1^*	m_2^*	m_1^*	m_2^*	m_1^*	m_2^*	D_ϕ	$D_в$	$d_б$	m_1^*	m_2^*
мм			кг						мм			кг	
500	820	705	70,0	84,0	70,0	84,0	72,0	86,0	690	650	M20	94,2	108
600	945	830	87,0	91,0	90,0	104	108	122	800	750	M24	132	146
700	1090	950	142	156	146	160	160	174	950	900		201	215
800	855	715	146	160	151	165	166	180	1050	1000	M27	221	235
	1305	1165	182	196	187	201	201	215				266	277
900	1030	890	219	233	206	219	230	244	1185	1125	M30	338	342
	1630	1490	273	287	280	294	304	318				428	442
1000	1355	1215	271	285	272	276	298	312	1285	1225		476	490
	1655	1515	313	327	314	327	340	354				511	555
	2255	2115	392	406	394	408	420	434				672	686
1200	1555	1415	359	373	369	483	483	447	1485	1425		668	681
	1805	1665	399	413	409	423	473	487				732	745
	2305	2165	479	493	489	503	553	567				860	873
1400	1465	1320	456	469	479	493	589	602	1685	1625		827	840
	1765	1620	510	523	535	584	654	667				894	1007
	2165	2020	585	598	610	622	744	757			1114	1127	

Продолжение табл. 17.5

D_n	H	H_1	Расчетное давление в рубашке p_p , МПа/М ³										
			0,1		0,3		0,6		1,0				
			m_1^*	m_2^*	m_1^*	m_2^*	m_1^*	m_2^*	D_ϕ	D_b	d_b	m_1^*	m_2^*
мм			кг						мм			кг	
1600	1680	1535	698	711	760	773	870	883	—	—	—	—	—
	2230	2085	840	853	902	915	1013	1025					
	2680	2535	949	962	1012	1024	1122	1135					
	3130	2985	1062	1075	1125	1138	1236	1249					
1800	1730	1585	800	813	871	784	1099	1112	—	—	—	—	—
	2080	1935	899	912	970	983	1225	1238					
	2580	2435	1038	1051	1109	1122	1417	1430					
	3280	3135	1235	1248	1305	1318	1679	1692					
2000	2160	1985	1250	1263	1310	1323	1603	1616	—	—	—	—	—
	2810	2615	1360	1373	1523	1536	1883	1897					
	3360	3165	1442	1455	1703	1716	2123	2136					
2200	2310	2115	1468	1481	1588	1601	1875	1888	—	—	—	—	—
	2860	2665	1664	1677	1784	1797	2073	2086					
	3410	3215	1858	1871	1978	1991	2383	2396					
2400	3060	2865	2225	2238	2354	2367	—	—	—	—	—	—	
	3860	3665	2635	2648	2764	2777							
2600	3210	3015	2670	2683	—	—	—	—	—	—	—	—	
	4010	3815	3205	3218									
	5010	4815	3799	3812									
2800	2860	2665	2888	2901	—	—	—	—	—	—	—	—	
	3560	3365	3298	3311									
	5460	5265	4425	4438									

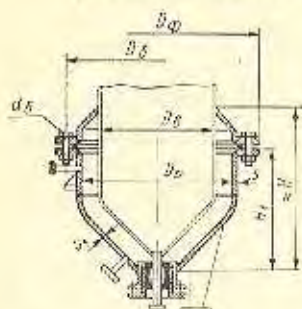
Примечания:

1. Значения толщины стенки воротника и обечайки s , а также толщины стенки днища s_1 см. в табл. 17.1.
2. Значения D_ϕ , D_b и d_b для $p_p = 0,1, 0,3$ и $0,6$ МПа/М³ см. в табл. 17.6.
3. Диаметры фланцев и болтов указаны по МН 3968-62.
4. Масса рубашек подсчитана для углеродистой стали при $\rho = 7,85 \cdot 10^3$ кг/м³. Для получения массы рубашек из высоколегированной стали надлежит применить коэффициент 1,01. При применении фланцев, отличных от МН 3968-62, масса рубашек должна быть соответственно изменена.

* m_1 и m_2 — масса для I и II типов рубашек.

Таблица 17.6

Рубашки отъемные с коническим отбортованным дном и нижним выпуском стальные (по МН 4062—62)



Условное обозначение рубашки с $D_p = 800$ мм, $H_1 = 1065$ мм на $p_p = 0,6$ Мн/м²: «Рубашки 800-1065-6 МН 4062—62»

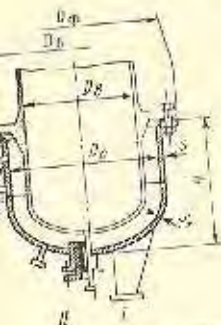
D_p	H	H_1	Расчетное давление p_p в рубашке, Мн/м ²											
			0,1			0,3			0,6			Масса, кг		
			D_ϕ	D_b	d_b	D_ϕ	D_b	d_b	D_ϕ	D_b	d_b			
мм			мм			мм			мм					
500	985	875	670	630	84,3	670	630	84,3	670	630	87,5	M20		
600	1045	930	770	730	99,1	770	730	103	770	730	122			
700	1205	1065	920	880	145	920	880	150	920	880	164			
900	1265	1125	1130	1090	219	1130	1090	224	1130	1090	246			
1000	1575	1435	1230	1190	282	1230	1190	284	1230	1190	310			
1200	2185 2685	2045 2545	1430	1390	429 510	1430	1390	440 516	1450	1400	503 585	M24		
1400	1805 2605	1660 2460	1630	1590	432 581	1630	1590	455 609	1650	1600	613 834			
1600	2520 3020	2375 2875	1830	1790	679 907	1830	1790	841 969	1860	1800	944 1072	M30		
1800	2630 3030	2485 2885	2030	1990	896 1015	2030	1990	966 1084	2060	2000	1297 1445			
2000	3260	3065	2350	2300	1191	2350	2300	1453	2360	2300	1790			
2200	3375 4075	3180 3880	2550	2500	1584 1837	2560	2500	1705 1957	2560	2500	2209 2459	M30		
2400	4385	4190	2760	2710	2526	2760	2710	2654						
2800	4110 5210	3915 5015	3160	3110	2922 3570	—	—	—	—	—	—			

Примечания:

1. Значения диаметра рубашки D_p , толщины стенки воротника и обечайки s , а также толщины стенки дна s_1 см. в табл. 17.1.
2. Диаметры фланцев и болтов указаны по МН 3968—67.
3. Масса рубашек подсчитана для углеродистой стали при $\rho = 7,86 \cdot 10^3$ кг/м³. Для получения массы рубашек из высоколегированной стали надлежит применить коэффициент 1,01. При применении фланцев, отличных от МН 3968—62, масса рубашек должна быть соответственно изменена.

Таблица 17.7

и отъемные с эллиптическим отбортованным
дном на давление 0,6 МПа/м² стальные
и чугунные эмалированные аппараты
(по МН 4063—62)



Условное обозначение ру-
башки типа I с D_p = 800 мм,
H = 400 мм «Рубашка
1-800-400 МН 4063—62»

Номинальная расчетная толщина стенки цилиндриче-
ской обечайки и дна рубашки с круглыми вмятинами
на них s_p определяется по формуле [167]

$$s_p = 0,7s', \quad (17.2)$$

где s' — номинальная расчетная толщина соответствующей
стенки корпуса аппарата, определенная по
формуле (17.1), в м (см).

При проверочных расчетах допускаемое избыточное
давление $P_{др}$ в МПа/м² (кгс/см²) в такой рубашке, имеющей
толщину стенок s_p , равную примерно 0,7 от толщины соот-
ветствующих стенок корпуса аппарата s , определяется
по формуле **

$$P_{др} = \frac{5\varphi_{ин}\sigma_{др}}{t^2} \left[(s - C_k) - 0,15 \frac{P}{\varphi_{ин}\sigma_{др}} D_g \right]^2, \quad (17.3)$$

где значения величин те же, что и в (17.1).

Для аппаратов с рубашкой из полуторб в виде спи-
ралей, навитых на цилиндрическую обечайку корпуса,
номинальные расчетные толщины стенки цилиндрической
обечайки аппарата s' и стенки полуторбы рубашки s'_m
в м (см) исходя из условия прочности определяются по
формулам [167]:

$$s' = 0,125 \frac{P}{\varphi_{ин}\sigma_{др}} D_g + d_s \sqrt{\frac{P P_r}{2\varphi_{ин}\sigma_{др}}}; \quad (17.4)$$

$$s'_m = \frac{1 + \sqrt{1 + 25AB}}{4A} d_s, \quad (17.5)$$

где d_s — внутренний диаметр полуторбы в м (см);

$$A = \frac{\varphi_{ин}\sigma_{др}}{P} - 2, 1;$$

$$B = \frac{l - d_s}{l} \left(\frac{s_m}{s} \right)^3;$$

l — расстояние (по вертикали) между осями сосед-
них полуторб в м (см);

s_m и s — принятые толщины стенок полуторбы и цилин-
дрической обечайки корпуса аппарата.

Значения остальных величин те же, что и в (17.1).
При проверочных расчетах допускаемое избыточное
давление $P_{др}$ в МПа/м² (кгс/см²) в такой рубашке опреде-
ляется по формуле **

$$P_{др} = \frac{2\varphi_{ин}\sigma_{др}}{d_s^2} \left[(s - C_k) - 0,125 \frac{P}{\varphi_{ин}\sigma_{др}} D_g \right]^2, \quad (17.6)$$

где значения величин те же, что и в (17.4).

Кроме того, должно быть соблюдено условие

$$s_m \geq s'_m + C, \quad (17.7)$$

где s'_m — номинальная расчетная толщина стенки полу-
торбы, определенная по (17.5) при значении
 $P_r = P_{др}$, полученном по (17.6);

C — суммарная прибавка к толщине стенки полу-
торбы, определяемая по (14.12).

Номинальная расчетная толщина стенки аппарата s'
в м (см), имеющего рубашку из полуторб, исходя из усло-

* Получена из (17.1) путем подстановки $P_{др}$ вместо P_r
и $s - C_k$ вместо s' .
** Получена из (17.4) путем подстановки $P_{др}$ вместо
 P_r и $s - C_k$ вместо s' .

D _p	H	D _ф	D _б	d _б	s	s _r	м ²	
							m ₁	m ₂
мм								
400	305	510	475	M16	3	4	22	56
500	280	620	580	M20			31	66
600	270	720	680				42	77
800	400	920	880	M24	4	6	89	124
1000	620	1130	1090				107	140
1100	585	1130	1190	M24	5	6	144	178
1300	800	1450	1400				173	207
1500	1100	1650	1600				229	263
1700	1000	1850	1800	M30	6	8	275	309
1900	1025	2060	2000				383	416
2000	1010	2360	2300				435	468
2200	1060	2560	2500	M30	10	8	520	552
2400	1400	2790	2720				678	710
2600	1525	2990	2920				910	941
2800	1600	3190	3120	M42	12	8	1046	1077
3000	1700	3490	3420				1214	1245
3200	1800	3790	3720	M42	12	8	1435	1466
3400	1900	4090	4020				1623	1654

Примечания:

1. Диаметры фланцев и болтов указаны по МН 3968—62.
2. Масса рубашек подчинена для углеродистой стали при $\rho = 7,85 \cdot 10^3$ кг/м³. Для получения массы рубашек из высоколегированной стали надлежит применить коэффициент 1,01. При применении фланцев, указанных от МН 3968—62, масса рубашек должна быть соответственно изменена.

* m_1 и m_2 — масса для I и II типов рубашек.

вия устойчивости ее от наружного давления в рубашке, определяется по формуле *

$$s' = \frac{B + \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A}, \quad (17.8)$$

где

$$A = 2 \frac{\sigma_T^t}{n_p D_s} \left(1 + 0,1 \frac{D_s}{l}\right) \left(1 + 5 \frac{D_s}{l}\right);$$

$$B = p_p \left(1 + 5 \frac{D_s}{l}\right);$$

$$C = 0,03 p_p D_s a;$$

l — наружный размер поперечного сечения полутрубы в месте присоединения ее к корпусу аппарата в м (см). Для полутруб из труб $d_k = 89$ мм $l = 82,8$ мм; для полутруб из труб $d_k = 57$ мм $l = 56$ мм;

σ_T^t — предел текучести материала стенки аппарата при рабочей температуре в Мн/м^2 (кгс/см^2);

n_p — запас на устойчивость, принимается равным 1,6;

a — отклонение корпуса аппарата от круглой формы в %, принимается 1,5%.

Значения остальных величин те же, что и в (17.1).

Следует отметить, что величина номинальной расчетной толщины стенки аппарата, исходя из условия прочности при $p_p \leq 3,2 \text{ Мн/м}^2$, является большей по сравнению с номинальной расчетной толщиной ее, исходя из условия устойчивости и, следовательно, определяющей. При $p_p \geq 4,0 \text{ Мн/м}^2$ для $D_s > 1000$ мм большей, определяющей является номинальная расчетная толщина стенки, исходя из условия устойчивости.

Толщина стенки днища корпуса аппарата принимается не менее толщины стенки цилиндрической обечайки его.

Толщина стенок с учетом прибавок во всех случаях определяется по формуле (15.10).

Пример 17.1. Определить толщину стенок цилиндрических обечайки и днища вертикального сварного аппарата и рубашки для примера 15.2 (рис. 15.10), если рубашка в аппарате будет с круглыми вмятинами (см. табл. 17.3), по следующим данным: материал обечайки и днища аппарата — сталь марки Х18Н10Т ($\sigma_{\text{д}}^{150} = 138 \text{ Мн/м}^2$); $C_k = 1$ мм; расчетное внутреннее давление в аппарате $p = 1 \text{ Мн/м}^2$ (10 кгс/см^2); расчетное давление в рубашке $p_p = 1,2 \text{ Мн/м}^2$ (12 кгс/см^2); материал рубашки — сталь марки Ст.3 ($\sigma_{\text{д}}^{150} = 131 \text{ Мн/м}^2$); $C_k = 1$ мм; $t_{\text{ст}} = 150^\circ \text{C}$; $D_s = 0,8$ м; $H = 2,4$ м; коэффициент прочности продольного сварного шва в цилиндрической обечайке аппарата $\varphi_{\text{ш}} = 1$; днища цельные без швов.

Номинальную расчетную толщину стенки цилиндрической обечайки и днища аппарата определяем по формуле (17.1)

$$s' = 0,15 \frac{p}{\varphi_{\text{ш}} \sigma_{\text{д}}} D_s + t \sqrt{\frac{p_p}{5 \varphi_{\text{ш}} \sigma_{\text{д}} p}}$$

$$= 0,15 \frac{1}{1,138} 0,8 + 0,14 \sqrt{\frac{1,2}{5 \cdot 0,8 \cdot 131}}$$

$$= (0,00087 + 0,00672) = 7,52 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 7,52 \text{ мм.}$$

Выбираем прибавку на округление толщины стенки (до ближайшего большего размера по сортаменту) $C_0 = 1,48$ мм.

* Из ОН 26-01-76-58

Суммарную прибавку к номинальной расчетной толщине стенки (при $C_0 = 0$) определяем по формуле (14.12)

$$C = C_k + C_0 + C_p = 1 + 0 + 1,48 = 2,48 \text{ мм.}$$

Толщину стенки с учетом прибавок определяем по формуле (15.10)

$$s = s' + C = 7,52 + 2,48 = 10 \text{ мм.}$$

Номинальную расчетную толщину стенки рубашки определяем по формуле (17.2)

$$s'_p = 0,7 s' = 0,7 \cdot 7,52 = 5,26 \text{ мм.}$$

Выбираем прибавку на округление толщины стенки (до ближайшего большего размера по сортаменту) $C_0 = 1,74$ мм.

Суммарную прибавку к номинальной расчетной толщине стенки (при $C_0 = 0$) определяем по формуле (14.12)

$$C = C_k + C_0 + C_p = 1 + 0 + 1,74 = 2,74 \text{ мм.}$$

Толщину стенки рубашки с учетом прибавок определяем по формуле (15.10)

$$s = s'_p + C = 5,26 + 2,74 = 8 \text{ мм.}$$

Допускаемое давление в рубашке при принятой толщине стенки аппарата определяем по формуле (17.3)

$$p_{\text{доп}} = \frac{5 \varphi_{\text{ш}} \sigma_{\text{д}}^0 p_p}{l^2} \left[(s - C_k) - 0,15 \frac{p}{\varphi_{\text{ш}} \sigma_{\text{д}}} D_s \right]^2 =$$

$$= \frac{5 \cdot 0,8 \cdot 131}{0,14^2} \left[(0,01 - 0,0011) - 0,15 \frac{1}{1,138} 0,8 \right]^2 =$$

$$= 1,77 \text{ Мн/м}^2 \text{ (17,7 кгс/см}^2\text{)}.$$

Пример 17.2. Определить толщину стенок цилиндрической обечайки аппарата и рубашки (из полутруб) для данных примера 17.1, если рубашка в аппарате будет из полутруб, навитых в виде спирали на цилиндрическую обечайку корпуса (см. табл. 17.4). $d_k = 57$ мм, $s_m = 4$ мм, $t = 75$ мм.

Номинальную расчетную толщину стенки цилиндрической обечайки аппарата исходя из условия прочности определяем по формуле (17.4)

$$s' = 0,125 \frac{p}{\varphi_{\text{ш}} \sigma_{\text{д}}} D_s + d_k \sqrt{\frac{p_p}{2 \varphi_{\text{ш}} p \sigma_{\text{д}} p}} =$$

$$= 0,125 \frac{1}{1,138} 0,8 + 0,049 \sqrt{\frac{1,2}{2 \cdot 0,8 \cdot 131}}$$

$$= 0,000725 + 0,00372 \approx 4,45 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 4,45 \text{ мм.}$$

Суммарную прибавку к номинальной расчетной толщине стенки (при $C_0 = 0$ и $C_0 = 0,55$ мм) определяем по формуле (14.12)

$$C = C_k + C_0 + C_p = 1 + 0 + 0,55 = 1,55 \text{ мм.}$$

Толщину стенки с учетом прибавок определяем по формуле (15.10)

$$s = s' + C = 4,45 + 1,55 = 6 \text{ мм.}$$

Определим расчетную толщину стенки полутрубы рубашки. Предварительно находим значение величины:

$$A = \frac{\varphi_{\text{ш}} \sigma_{\text{д}}^0 p_p}{p_p} - 2,1 = \frac{0,8 \cdot 131}{1,2} - 2,1 = 85,3;$$

$$B = \frac{t - d_k}{l} \left(\frac{s_m}{s} \right)^3 = \frac{0,075 - 0,049}{0,075} \left(\frac{4}{12} \right)^3 = 0,1025.$$

Номинальную расчетную толщину стенки полутрубы рубашки определяем по формуле (17.5)

$$s'_m = \frac{1 + \sqrt{1 + 25AB}}{4A} d_s = \\ = \frac{1 + \sqrt{1 + 25 \cdot 85,3 \cdot 0,1025}}{4 \cdot 85,3} 0,049 = \\ = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 2,3 \text{ мм.}$$

Толщину стенки полутрубы с учетом прибавки на коррозию $C_k = 1 \text{ мм}$ определяем по формуле (15.10)

$$s_m = s'_m + C_k = 2,3 + 1 = 3,3 \text{ мм.}$$

т. е. меньше, чем по нормали (табл. 17.4) $s_m = 4 \text{ мм}$.

Толщину стенки днища корпуса аппарата принимаем $s_1 = 6 \text{ мм}$.

Допускаемое давление в рубашке из полутруб при принятой толщине стенки цилиндрической обечайки корпуса аппарата определяем по формуле (17.6)

$$p_{\partial p} = \frac{2\varphi_{шp}\sigma_{\partial p}}{d_s^2} \left[(s - C_k) - 0,125 \frac{p}{\varphi_{шp}\sigma_{\partial p}} D_o \right]^2 = \\ = \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 131}{0,049^2} \left[(0,006 - 0,001) - 0,125 \frac{1}{1 \cdot 138} 0,8 \right]^2 = \\ = 1,83 \text{ Мн/м}^2 \text{ (18,3 кгс/см}^2\text{)},$$

что больше расчетного $1,2 \text{ Мн/м}^2$.

Определим расчетную толщину цилиндрической стенки аппарата исходя из условия устойчивости. Предварительно находим значение величин A , B и C в формуле (17.8):

$$A = 2 \frac{\sigma_r^t}{n_y D_o} \left(1 + 0,1 \frac{D_o}{l} \right) \left(1 + 5 \frac{D_o}{l} \right) = \\ = 2 \frac{138}{1,6 \cdot 0,8} \left(1 + 0,1 \frac{0,8}{0,056} \right) \left(1 + 5 \frac{0,8}{0,056} \right) = 36400; \\ B = p_p \left(1 + 5 \frac{D_o}{l} \right) = 1,2 \left(1 + 5 \frac{0,8}{0,056} \right) = 88; \\ C = 0,03 p_p D_o u = 0,03 \cdot 1,2 \cdot 0,8 \cdot 1,5 = 0,0432.$$

Номинальную расчетную толщину стенки цилиндрической обечайки корпуса аппарата определяем по формуле (17.8)

$$s^t = \frac{B + \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A} = \\ = \frac{88 + \sqrt{88^2 + 4 \cdot 36400 \cdot 0,0432}}{2 \cdot 36400} = \\ = 2,83 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 2,83 \text{ мм.}$$

что значительно меньше номинальной расчетной толщины стенки, определенной выше, исходя из условия прочности.

УКРЕПЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ

В обечайках, днищах и некоторых других деталях химических аппаратов весьма часто требуется иметь разного рода отверстия: для штуцеров, вводов труб, люков, лазов и т. п. Такие отверстия ослабляют соответствующую стенку аппарата и поэтому во многих случаях (особенно при больших диаметрах отверстий) требуют укрепления.

Различают отверстия неукрепленные и укрепленные. Неукрепленными считаются отверстия под развальцовку труб, под резьбу, а также отверстия, уплотняемые любыми затворами. Отверстия могут быть частично укрепленными.

Укрепление отверстий осуществляется: штуцером, втулкой, накладкой и бобышкой, привариваемыми к укрепляемой стенке, утолщением укрепляемой стенки, а также совместным действием каких-либо двух из перечисленных укреплений, например штуцером и накладкой, утолщением укрепляемой стенки и штуцером и т. д.

Выбор рациональной конструкции укрепления применительно к конструктивному материалу, виду нагрузки, с учетом условий эксплуатации аппарата имеет большое значение для его надежности. Известны случаи, когда вследствие неправильного выбора конструкции укрепления, аппарат разрушался с тяжелыми последствиями.

Существовавший много лет упрощенный подход к вопросу укрепления отверстий только компенсацией вырезанного сечения укрепляющим элементом в настоящее время уточнен и ограничен.

ЛенНИИхиммашем разработаны две инженерные методики расчета укрепления отверстий в стенках аппаратов применительно к различным конструктивным материалам и видам нагрузки:

для стенок из пластичных (в эксплуатационных условиях) материалов, работающих при статических нагрузках — уточненная методика расчета, основанная на компенсации вырезанного сечения, которая допускает наличие местных остаточных деформаций в месте наибольших концентранных напряжений, например в стыке приварного штуцера со стенкой аппарата;

для стенок из хрупких (в эксплуатационных условиях) материалов или пластичных материалов, но имеющих хрупкие покрытия, а также для стенок из любых материалов, работающих при переменных нагрузках, приводящих к усталостному разрушению, — методика расчета, основанная на теории упругих тонких оболочек, не допускающая наличия остаточных деформаций в соединении.

На рис. 18.1 показаны основные типовые конструкции укрепления отверстий в стенках для штуцеров и труб в сварной аппаратуре.

Укрепление отверстий в цилиндрических, конических и сферических стенках

Расчет укрепления одиночных отверстий в стенках цилиндрических и конических обечайки (днища), а также в стенках отбортованных сферических и эллиптических днищ из пластичных (в эксплуатационных условиях) материалов, работающих при статических нагрузках [24], ограничивается следующими условиями:

для отверстий в стенках цилиндрических обечайки и сферических и эллиптических обечайки и днищ

$$\frac{d}{D_0} \leq 0,6; \tag{18.1}$$

$$\frac{s}{D_0} \leq 0,05; \tag{18.2}$$

для отверстий в стенках конических обечайки и днищ

$$\frac{d}{D_0} \leq 0,6 \cos \alpha; \tag{18.3}$$

$$\frac{s}{D_0} \leq 0,05 \cos \alpha, \tag{18.4}$$

где d — диаметр отверстия;

D_0 — внутренний диаметр обечайки или днища; для конических обечайки и днищ — внутренний диаметр обечайки или днища по центру отверстия;

α — половина угла при вершине конуса.

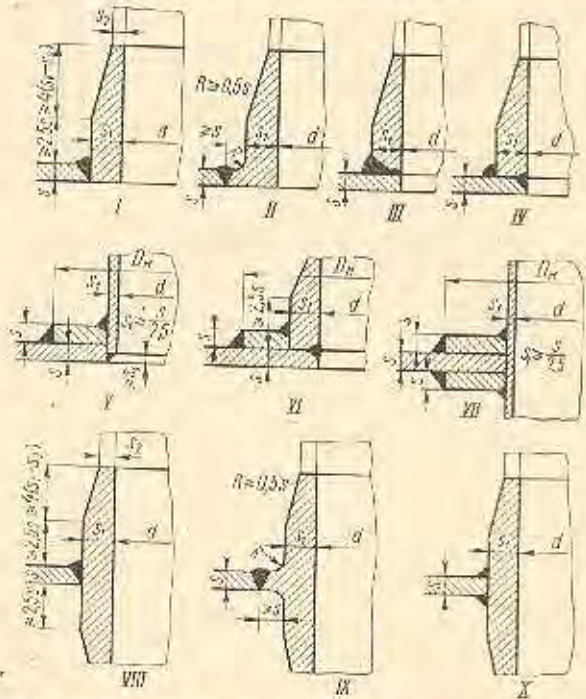


Рис. 18.1 Основные типовые конструкции укрепления отверстий для приварных штуцеров и труб в сварной аппаратуре (из пластичных материалов), работающей при статических нагрузках. Укрепление присоединяемых труб: I—IV — втулочное; V — накладочное; VI — втулочное-накладочное. Укрепление ввода труб: VII — накладочное; VIII—X — втулочное

Методика применима при расчете укрепления овальных отверстий, отношение длин осей которых удовлетворяет условию

$$\frac{d_2}{d_1} \leq 1 + 2 \frac{\sqrt{D_0 (s - C_{\kappa})}}{d_1}, \tag{18.5}$$

где d_1 и d_2 — длины меньшей и большей осей овального отверстия.

При расчете укрепления таких отверстий в качестве d принимается длина большей оси овального отверстия, т. е. $d = d_2$.

В случае наклонно расположенного штуцера (рис. 18.2) с углом наклона, большим 30° , штуцер не считается укрепляющим элементом.

Наибольший допустимый диаметр d_3 в мм (см) одиночного отверстия в стенке, не требующего дополнитель-

ного укрепления (без учета наличия привариваемых штуцера, трубы и т. д.), определяется по формуле

$$d_0 = 2 \left[\left(\frac{s - C_k}{s'} - 0,8 \right) \sqrt{D_n (s - C_k) - C_n} \right], \quad (18.6)$$

где s — толщина стенки в м (см);
 s' — номинальная расчетная толщина стенки без прибавок и при $\varphi_{ш} = 1$ в м (см);
 C_k — прибавка на коррозию в м (см).

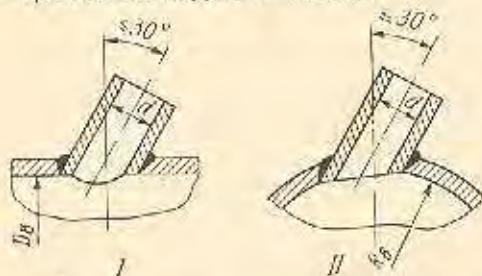


Рис. 18.2. Наклонное расположение штуцеров в обечайках и днищах аппаратов: I — в цилиндрических и конических обечайках; II — в сферических и эллиптических днищах

Отверстия, имеющие диаметр (или соответствующий ему размер в овальных отверстиях), больший чем d_0 , должны быть укреплены введением укрепляющих элементов (для компенсации выреза) в виде приварных штуцера, ступки, накладки и т. д.

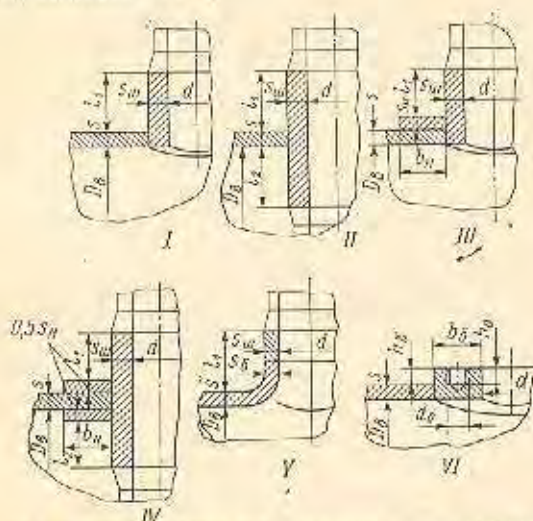


Рис. 18.3. Расчетные схемы для различных конструкций укрепления отверстий в стенках аппаратов (из пластичных материалов), работающих при статических нагрузках:

I — укрепление односторонним штуцером; II — укрепление двусторонним штуцером; III — укрепление односторонним штуцером и накладкой; IV — укрепление двусторонним штуцером и двумя накладками (или одной накладкой толщиной s); V — укрепление отбортовкой и штуцером; VI — укрепление бобышкой

На рис. 18.3 показаны расчетные схемы для различных конструкций укрепления отверстия.

Площадь сечения отверстия в стенке F_0 в м² (см²), подлежащая компенсации при требуемом укреплении, определяется по формулам:

для отверстий, закрываемых крышками, заглушками, затворами, разъемного ввода труб, предназначенных для привариваемых к стенкам штуцеров, труб и т. д. (схемы I—IV и VI)

$$F_0 = (d - d_0) s', \quad (18.7)$$

для отбортованных отверстий (схема V)

$$F_0 = (d + 2s_0 - d_0) s'. \quad (18.8)$$

Площадь сечения штуцера $F_{ш}$ в м² (см²), участвующая в укреплении, определяется по формулам:

при одностороннем (внешнем) укреплении (схемы I и III)

$$F_{ш} = 2(l_1 + s - s' - C_k)(s_{ш} - s'_{ш} - C_k); \quad (18.9)$$

при двустороннем укреплении (схемы II и IV)

$$F_{ш} = 2(l_1 + s - s' - C_k)(s_{ш} - s'_{ш} - C_k) + 2l_2(s_{ш} - 2C_k), \quad (18.10)$$

где $s_{ш}$ — толщина стенки штуцера в м (см);
 $s'_{ш}$ — номинальная расчетная толщина стенки штуцера (без прибавок и при $\varphi_{ш} = 1$) в м (см);
 l_1 и l_2 — внешняя и внутренняя длины частей штуцера в м (см), участвующих в укреплении, которые определяются по формулам:

$$l_1 = \sqrt{(d + 2C_k)(s_{ш} - C_k)}; \quad (18.11)$$

$$l_2 = \sqrt{(d + 2C_k)(s_{ш} - 2C_k)}. \quad (18.12)$$

Площадь сечения наружной укрепляющей накладки F_n в м² (см²) определяется по формуле

$$F_n = 2(b_n + s_{ш} - s'_{ш} - C_k)s_n, \quad (18.13)$$

где b_n — ширина укрепляющей накладки в м (см);
 s_n — толщина укрепляющей накладки в м (см).

Расчетная ширина укрепляющей накладки b'_n в м (см) не зависит от толщины ее и определяется по формуле

$$b'_n = \sqrt{D_n(s - C_k)}. \quad (18.14)$$

Площадь сечений отбортовки и части приваренного штуцера, участвующих в укреплении (при $s_0 = s_{ш}$), определяется по формуле (18.9).

Площадь сечения укрепляющей бобышки F_b в м² (см²), участвующей в укреплении, определяется по формуле*

$$F_b = 2(b_b - s'_{ш} - d_0 - C_k)h_b, \quad (18.15)$$

где b_b — ширина бобышки в м (см);
 h_b — высота бобышки над укрепляемой стенкой в м (см);
 d_0 — наружный диаметр резьбы шпилек в бобышке в м (см).

Условие укрепления отверстия для любых укрепляющих конструкций

$$F_0 \leq \sum F_k, \quad (18.16)$$

где $\sum F_k$ — сумма площадей укрепляющих элементов.

При приварке штуцера или трубы к стенке аппарата по схемам I и II на рис. 18.3 (наиболее часто встречающийся случай при конструировании) укрепление отверстия этим штуцером является достаточным, если соблюдены условия:

* Получена по аналогии с (18.13) при $b_b = b_n + s_{ш}$ и замене s_n на h_b .

при одностороннем штуцере (схема I)

$$(d-d_0) s' \leq 2(t_1 + s - s' - C_K)(s_{ш} - s'_{ш} - C_K)^* \quad (18.17)$$

при двустороннем штуцере (схема II)

$$(d-d_0) s' \leq 2(t_1 + s - s' - C_K)(s_{ш} - s'_{ш} - C_K) + 2l_2(s_{ш} - 2C_K)^{**} \quad (18.18)$$

В случае несоблюдения этих условий необходимо вводить в соединение дополнительное укрепление в виде местного утолщения стенки штуцера, местного утолщения укрепляемой стенки или накладки.

Предпочтительными для укрепления отверстий в стенке являются наименее материалоемкие, имеющие минимальные габариты втулочные укрепления (за счет утолщения стенки штуцера).

Толщину стенки штуцера, участвующей в укреплении, исходя из рациональной сварки не рекомендуется увеличивать более чем до $2s$.

Подставив в (18.9)–(18.12) вместо $s_{ш} = 2s$ и приравняв правую часть (18.7) соответственно правым частям (18.9) и (18.10), получим условия выбора штуцерных (втулочных) укреплений:

при одностороннем укреплении

$$(d-d_0) s' \leq 2 \sqrt{(d+2C_K)(2s-C_K)} + s - s' - C_K (2s - s'_{ш} - C_K) \quad (18.19)$$

при двустороннем укреплении

$$(d-d_0) s' \leq 2 \sqrt{(d+2C_K)(2s-C_K)} + s - s' - C_K (2s - s'_{ш} - C_K) + 2 \sqrt{(d+2C_K) 2(s-C_K) 2(s-C_K)} \quad (18.20)$$

При этих условиях требуемая для укрепления толщина стенки штуцера $s_{ш}$ (в пределах до $2s$) подбирается методом последовательных приближений до соблюдения условий (18.17) или (18.18).

В тех случаях, когда условия (18.19) или (18.20) не выполнены, а также тогда, когда по каким либо соображениям желательно утолщать стенки штуцеров, укрепление отверстия в стенке осуществляется утолщением укрепляемой стенки или штуцером и накладкой (схемы III и IV).

При укреплении отверстия за счет утолщения укрепляемой стенки толщина ее s определяется методом последовательных приближений из формулы (18.6).

Длина утолщенной стенки l в м (см) в цилиндрических и конических обечайках или диаметр утолщенной части D в сферических и эллиптических днищах должны быть не менее

$$l = D = d + 2 \sqrt{D_0(s-C_K)} \quad (18.21)$$

При укреплении отверстия штуцером и накладкой первоначальная толщина стенки штуцера не увеличивается, а толщину укрепляющей накладки s_n целесообразно выбирать равной толщине укрепляемой стенки s , исходя из использования отходов при изготовлении соответствующих по толщине обечайки и днищ.

Укрепление в этом случае будет обеспечено при условиях:

* Получено приравняванием правых частей (18.7) и (18.9).

** Получено приравняванием правых частей (18.7) и (18.10).

для схемы III

$$(d-d_0) s' \leq 2(t_1 + s - s' - C_K)(s_{ш} - s'_{ш} - C_K) + 2(b_n + s_{ш} - s'_{ш} - C_K) s_n \quad (18.22)$$

для схемы IV

$$(d-d_0) s' \leq 2(t_1 + s - s' - C_K)(s_{ш} - s'_{ш} - C_K) + 2l_2(s_{ш} - 2C_K) + 2(b_n + s_{ш} - s'_{ш} - C_K) s_n \quad (18.23)$$

где b_n — ширина укрепляющей накладки, которая должна быть не более расчетной величины, определяемой по (18.14).

Если условия (18.22) или (18.23) не будут выполнены, то необходимо увеличить толщину стенки штуцера $s_{ш}$ (в пределах до $s_{ш} \leq 2s$), либо толщину накладки s_n (в тех же пределах), либо то и другое до соблюдения указанных условий.

При приварке штуцера или трубы к отбортованной стенке по схеме V (рис. 18.3) укрепление отверстия отбортовкой и штуцером является достаточным, если соблюдено условие

$$(d+2s_0-d_0) s' \leq 2(t_1 + s - s' - C_K) \times (s_{ш} - s'_{ш} - C_K)^* \quad (18.24)$$

Следует иметь в виду, что толщина отбортовки s_0 из технологических соображений может быть не более 0,8s, чем и ограничивается область применения таких укреплений. Применение их может быть расширено соответствующим увеличением толщины укрепляемой стенки s на участке расположения отверстия.

Укрепление отверстия бобышкой по схеме VI (рис. 18.3) является достаточным, если соблюдено условие

$$(d-d_0) s' \leq 2[(b_0 - s'_{ш} - C_K) h_0 - d_0 h_0] \quad (18.25)$$

где d_0 и h_0 — наружный диаметр резьбы и глубина резьбового гнезда для шпилек или болтов (при наличии таковых);

b_0 — ширина бобышки, которая должна быть не менее расчетной величины, определяемой по (18.14).

Ширина накладки (или бобышки) b_n при необходимости может быть меньше расчетной b_n , определяемой по (18.14), но при этом должно быть соблюдено условие

$$b_n = b_n' \frac{s'_n}{s_n} \quad (18.26)$$

где s'_n — расчетная толщина накладки (или бобышки),

соответствующая ее расчетной ширине b_n' ;

s_n — толщина накладки (или бобышки) при уменьшении ее ширины.

В любом случае ширину накладки b_n рекомендуется принимать не более следующих значений: при $d \leq 800$ мм $b_n \leq 0,5d$; при $800 < d < 1500$ мм $b_n \leq 400$ мм; при $d \geq 1500$ мм $b_n \leq 0,3d$.

Приведенные выше расчеты укрепления отверстий справедливы для одинаковых материалов укрепляемой стенки и укрепляющих элементов или для разных, но равнопрочных материалов.

Если материалы их будут разными и не равнопрочными, то расчетные размеры укрепляющих элементов,

* Получено приравняванием правых частей (18.8) и (18.9).

определяемые по соответствующим формулам, должны быть изменены обратно пропорционально их допускаемым напряжениям.

При укреплении смежных отверстий в стенках аппаратов необходимо руководствоваться следующими положениями.

Наименьшее допустимое расстояние A_d между центрами двух смежных отверстий (рис. 18.4), при расчете укреплений которых не требуется учитывать взаимное влияние этих отверстий, определяется по формуле

$$A_d = 0,7(d_1 + d_2) + s_{w1} + s_{w2}. \quad (18.27)$$

При этом половина площади укрепления должна находиться между отверстиями.

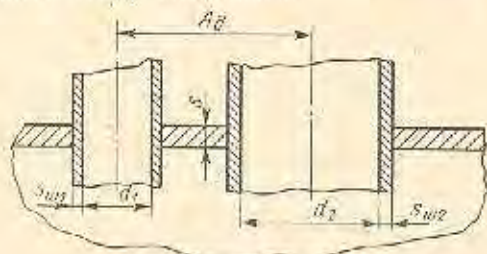


Рис. 18.4. Размещение двух смежных штуцеров

Если расстояние A между двумя смежными отверстиями будет меньше A_d , то расчет укрепления производится так же, как для одиночного отверстия с условным диаметром, определяемым по формуле

$$d_d = A + 0,5(d_1 + d_2) + 2C_k. \quad (18.28)$$

Пример 18.1. Проверить необходимость укрепления отверстий в цилиндрической обечайке аппарата, рассчитанной в примере 15.1, под привариваемые к ней два штуцера по схеме 1 (рис. 18.3) с внутренними диаметрами: $d_1 = 0,8$ м (из стального листа марки Ст.3 толщиной 10 мм) и $d_2 = 0,15$ м (из стальной бесшовной трубы 159×4,5 мм марки 10). В случае, если отверстия требуют укрепления, выбрать тип укрепления и определить основные размеры укрепляющих элементов.

Из примера 15.1 имеем: $D_a = 2$ м; $p = 1,058$ МПа/м²; $\sigma_d = 140$ МПа/м²; $s = 10$ мм; $s' = 17,95$ мм; $C_k = 1$ мм.

Наибольший допустимый диаметр отверстия в обечайке, не требующего укрепления (без учета наличия привариваемого штуцера), определяем по формуле (18.6)

$$d_d = 2 \left[\left(\frac{s - C_k}{s'} - 0,8 \right) \sqrt{D_a(s - C_k) - C_k} \right] = \\ = 2 \left[\left(\frac{10 - 1}{17,95} - 0,8 \right) \sqrt{2(0,01 - 0,001) - 0,001} \right] = \\ = 0,0864 \text{ м.}$$

Поскольку внутренние диаметры обоих штуцеров больше d_d , отверстия для них в обечайке должны быть укреплены.

Производим расчет укреплений для каждого штуцера раздельно.

Первый штуцер $d_1 = 0,8$ м.

Номинальную расчетную толщину стенки штуцера, считая коэффициент прочности продольного сварного шва в нем $\varphi_{ш} = 0,95$ (см. пример 15.1), определяем по формуле (15.3)

$$s'_{w1} = \frac{d_1 p}{2 \sigma_d \varphi_{ш}} = \frac{0,8 \cdot 1,058}{2 \cdot 140 \cdot 0,95} = 3,18 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 3,18 \text{ мм.}$$

Длину части штуцера, участвующей в укреплении отверстия, определяем по формуле (18.11)

$$l_1 = \sqrt{(d_1 + 2C_k)(s_{w1} - C_k)} = \\ = \sqrt{(0,8 + 2 \cdot 0,001)(0,01 - 0,001)} = 0,085 \text{ м.}$$

Проверим, достаточно ли укрепление отверстия в обечайке штуцером по условию (18.17)

$$(d_1 - d_d) s' \leq 2(l_1 + s - s' - C_k) \times \\ \times (s_{w1} - s'_{w1} - C_k).$$

Левая часть условия

$$(0,8 - 0,0864) 0,00795 = 0,00565 \text{ м}^2.$$

Правая часть условия

$$2(0,085 + 0,01 - 0,00795 - 0,001) \times \\ \times (0,01 - 0,00318 - 0,001) = 0,001 \text{ м}^2.$$

Поскольку правая часть условия меньше левой, укрепление отверстия не обеспечено.

Рассмотрим два типа укрепления отверстия — утолщением укрепляемой стенки и накладкой.

Рассмотрим укрепление утолщением стенки. Согласно предыдущему имеем

$$(d_1 - d_d) s' \leq 0,001 \text{ м}^2,$$

или

$$d_d = d_1 - \frac{0,001}{s'} = 0,8 - \frac{0,001}{0,00795} = 0,674 \text{ м.}$$

Методом последовательных приближений находим толщину укрепляемой стенки обечайки $s = 22$ мм, при которой допускаемый диаметр неукрепленного отверстия определяем по формуле (18.6)

$$d_d = 2 \left[\left(\frac{22 - 1}{17,95} - 0,8 \sqrt{2(0,022 - 0,001)} - 0,001 \right) \right] = \\ = 0,752 \text{ м} > 0,674 \text{ м,}$$

т. е. укрепление обеспечено.

Рассмотрим укрепление накладкой. Накладку выбираем из той же марки стали, что и обечайка (Ст.3), толщиной 10 мм.

Расчетную ширину накладки определяем по формуле (18.14)

$$b'_n = \sqrt{D_a(s - C_k)} = \sqrt{2(0,01 - 0,001)} = 0,134 \text{ м.}$$

Проверим, достаточно ли укрепление отверстия по условию (18.22)

$$(d_1 - d_d) s' \leq 2(l_1 + s - s' - C_k) \times \\ \times (s_{w1} - s'_{w1} - C_k) + 2(b'_n + s_{w1} - s'_{w1} - C_k) s_k.$$

Левая часть условия определена выше и равна 0,00565 м².

Первое слагаемое правой части условия также определено выше и равно 0,001 м².

Второе слагаемое правой части условия

$$2(0,134 + 0,01 - 0,00318 - 0,001) 0,01 = 0,003 \text{ м}^2.$$

Откуда правая часть условия $0,001 + 0,003 = 0,004$ м², т. е. меньше левой и, следовательно, укрепление отверстия не обеспечено.

Обеспечим укрепление отверстия за счет увеличения толщины накладки, для чего решим условие (18.22) относительно s_k .

Согласно предыдущему имеем

$$0,00565 \leq 2(b'_n + s_{\omega 1} - s'_{\omega 1} - C_n) s'_n$$

или после преобразований

$$s'_n \geq \frac{0,00565 - 0,001}{2(b'_n + s_{\omega 1} - s'_{\omega 1} + C_n)} = \frac{0,00465}{2(0,134 + 0,01 - 0,00318 - 0,001)} = 0,0167 \text{ м.}$$

Принимаем $s_n = 18$ мм.

Сравнивая оба типа укрепления, предпочтение, очевидно, следует дать второму (с накладкой), поскольку оно является значительно менее металлоемким.

Второй штуцер $d_2 = 0,15$ м.

Номинальное допускаемое напряжение для стали марки 10 при температуре среды 20°C определяем по графику на рис. 14.1 $\sigma_d^* = 130 \text{ МПа/м}^2$.

Допускаемое напряжение при $\eta = 1$ $\sigma_d = \sigma_d^* \eta = 130 \text{ МПа/м}^2$.

Номинальную расчетную толщину стенки штуцера при $\varphi = 1$ определяем по формуле (15.3)

$$s'_{\omega 2} = \frac{d_2 p}{2\sigma_d \varphi} = \frac{0,15 \cdot 1,058}{2 \cdot 130 \cdot 1} = 0,61 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,61 \text{ мм.}$$

Длину части штуцера, участвующей в укреплении отверстия, определяем по формуле (18.11)

$$l_1 = \sqrt{(d_2 + 2C_n)(s_{\omega 2} - C_n)} = \sqrt{(0,15 + 2 \cdot 0,001)(0,0045 - 0,001)} = 0,0231 \text{ м.}$$

Проверим, достаточно ли укрепление отверстия в обечайке штуцером по условию (18.17) с учетом разных допускаемых напряжений для обечайки и штуцера

$$(d_2 - d_d) s' \leq 2(l_1 + s - s' - C_n) \times (s_{\omega 2} - s'_{\omega 2} - C_n) \frac{\sigma_{dt}}{\sigma_d}$$

Левая часть условия

$$(0,15 - 0,0864) 0,00795 = 0,000506 \text{ м}^2.$$

Правая часть условия

$$2(0,0231 + 0,01 - 0,00795 - 0,001)(0,0045 - 0,00061 - 0,001) \frac{130}{140} = 0,000129 \text{ м}^2.$$

Поскольку правая часть условия меньше левой, укрепление отверстия не обеспечено.

Проверим возможность применения утолщенного укрепления (за счет увеличения толщины патрубка) по условию (18.19)

$$(d_2 - d_d) s' \leq 2[\sqrt{(d_2 + 2C_n)(2s - C_n)} + s - s' - C_n](2s - s'_{\omega 2} - C_n).$$

Левая часть условия определена выше и равна $0,000506 \text{ м}^2$.

Правая часть условия

$$2[\sqrt{(0,15 + 2 \cdot 0,001)(2 \cdot 0,01 - 0,001)} + 0,01 - 0,00795 - 0,001](2 \cdot 0,01 - 0,00061 - 0,001) = 0,00198 \text{ м}^2 > 0,000506 \text{ м}^2,$$

т. е. условие соблюдено и, следовательно, возможно применить укрепление за счет увеличения толщины стенки штуцера.

Методом последовательных приближений находим толщину штуцера $s = 10$ мм, которая обеспечивает укрепление отверстия.

Проверим это расчетом.

Длина части штуцера, участвующей в укреплении по формуле (18.11)

$$l_1 = \sqrt{(0,15 + 2 \cdot 0,001)(0,01 - 0,001)} = 0,037 \text{ м.}$$

Правая часть условия (18.17)

$$2(0,037 + 0,01 - 0,00795 - 0,001)(0,01 - 0,00061 - 0,001) \frac{130}{140} = 0,000593 \text{ м}^2 > 0,000506 \text{ м}^2,$$

т. е. условие соблюдено и укрепление обеспечено.

Пример 18.2. Определить наименьшее допустимое расстояние между центрами штуцеров в предыдущем примере при размещении их в цилиндрической обечайке аппарата по одной образующей.

Из примера 18.1 имеем: $d_1 = 0,8$ м; $d_2 = 0,15$ м; $s_{\omega 1} = s_{\omega 2} = 10$ мм; $b_n = 0,134$ м.

Наименьшее допустимое расстояние между центрами штуцеров определяем по формуле (18.27)

$$A_d = 0,7(d_1 + d_2) + s_{\omega 1} + s_{\omega 2} = 0,7(0,8 + 0,15) + 0,01 + 0,01 = 0,685 \text{ м.}$$

С другой стороны, требуется, чтобы между смежными отверстиями находилась половина площади укрепления отверстия, которая, в данном случае, состоит из части утолщенных штуцеров и накладки. Поэтому наименьшее допустимое расстояние между центрами штуцеров, исходя из последних соображений, с учетом места для приварки штуцеров и накладки (0,02 м) составит

$$A_d \geq 0,5(d_1 + d_2) + s_{\omega 1} + s_{\omega 2} + b_n + 0,02 = 0,5(0,8 + 0,15) + 0,01 + 0,01 + 0,134 + 0,02 = 0,649 \text{ м,}$$

т. е. первое соображение оказалось определяющим.

Принимаем $A_d = 0,685$ м.

Расчет укрепления одиночных отверстий для штуцеров в стенках цилиндрических и конических обечайек, эллиптических и сферических днищ из хрупких (в эксплуатационных условиях) материалов, любых материалов, имеющих хрупкие покрытия, а также из пластичных материалов, работающих при переменных нагрузках, приводящих к усталостному разрушению [24], производится следующим образом.

Укрепление такого рода отверстий осуществляется соответствующим утолщением укрепляемой стенки и стенки присоединяемого штуцера.

Расчет таких укреплений ограничивается следующими условиями:

$$\frac{d}{D_s} \leq 0,8; \quad (18.29)$$

$$\frac{s}{D_d} \leq 0,05, \quad (18.30)$$

где d — диаметр отверстия в обечайке или днище;

D_s — внутренний диаметр обечайки или днища;

s — толщина стенки обечайки или днища.

Расчетом определяются толщина стенок укрепляемой и присоединяемого штуцера, а также ширина усиленной стенки и днища усиленного штуцера.

Расчет укрепления отверстия для штуцера в цилиндрической обечайке [24] производится следующим образом (рис. 18.5). Номинальная расчетная толщина усиленной части обечайки s'_k в мм (см) определяется по формуле

$$s'_k = \frac{D_0 p}{3\sigma_d} \left(1 + 1,4 \sqrt{\lambda^3 \frac{\sigma_d}{\rho}} \right), \quad (18.31)$$

Номинальная расчетная толщина усиленной части штуцера $s'_{ш}$ в мм (см) определяется по формуле

$$s'_{ш} = \frac{D_0 p}{4\sigma_{ду}} \left(\lambda - \sqrt{\lambda} + 2,4 \sqrt{\lambda \frac{\sigma_{ду}}{\rho} \sqrt{\frac{s_k}{D_0}}} \right), \quad (18.32)$$

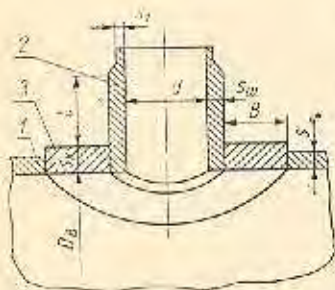


Рис. 18.5. Укрепление отверстия в цилиндрической обечайке (из хрупких материалов):

1 — обечайка; 2 — штуцер; 3 — усиленная часть обечайки

где $\lambda = \frac{d}{D_0}$;
 σ_d и $\sigma_{ду}$ — допускаемые напряжения для материалов обечайки и штуцера в МПа/к^2 (кгс/см^2).

Толщины s_k и $s_{ш}$ с учетом прибавок определяются по формуле (15.10).

Расчетная ширина усиленной части обечайки B' в мм (см) определяется по формуле

$$B' = \sqrt{D_0 s_k}. \quad (18.33)$$

Расчетная длина усиленной части штуцера l' в мм (см) определяется по формуле

$$l' = \sqrt{(d - s_{ш}) s_{ш}}. \quad (18.34)$$

В тех случаях, когда $s_k \leq s$ и $s_{ш} \leq s_1$, укрепления отверстия не требуется.

Расчет укрепления отверстия для штуцера в эллиптическом или сферическом днище* (см. рис. 18.6) производится следующим образом. Номинальная расчетная толщина усиленной части днища s'_k в мм (см) определяется по формуле

$$s'_k = \frac{R_1 p}{3\sigma_d (1 + \sqrt{\lambda})} \times \left(1 + 2,3 \sqrt{\lambda^3 \frac{\sigma_d}{\rho}} \right), \quad (18.35)$$

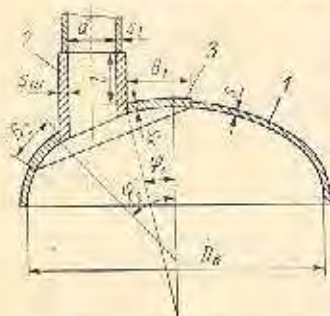


Рис. 18.6. Укрепление отверстия в эллиптическом или сферическом днище (из хрупких материалов):

1 — днище; 2 — штуцер; 3 — усиленная часть днища

* В. А. Земляк, Г. И. Федяко, Б. А. Васильев и др. К расчету на прочность укрепления отверстий в эллиптических днищах сосудов и аппаратов, работающих под внутренним давлением. Сборник трудов НИИХиммаша «Вопросы прочности в химическом машиностроении» № 60, М., 1969.

Номинальная расчетная толщина усиленной части штуцера $s'_{ш}$ в мм (см) определяется по формуле

$$s'_{ш} = 0,6 \frac{R_1 p}{\sigma_{ду}} \sqrt{\frac{\lambda}{0,7\lambda + \sqrt{\lambda}} \cdot \frac{\sigma_{ду}}{\rho}} \times \left(1 - 0,7 \sqrt{\frac{s_k}{\lambda R_1}} \right) \sqrt{\frac{s_k}{R_1}}, \quad (18.36)$$

где

$$R_1 = \frac{D_0}{\sqrt{1 + 3 \sin^2 \varphi_1}}; \quad \lambda = \frac{d}{2D_0} \sqrt{1 + 3 \sin^2 \varphi_1}.$$

Значения остальных величин см. выше. Толщины s_k и $s_{ш}$ с учетом прибавок определяются по формуле (15.10).

Расчетная ширина усиленной части днища B'_1 и B'_2 в мм (см) определяется в зависимости от угла φ : при $\varphi = \varphi_1$ — по формуле

$$B'_1 = 1,4 \sqrt{R_1 s_k}; \quad (18.37)$$

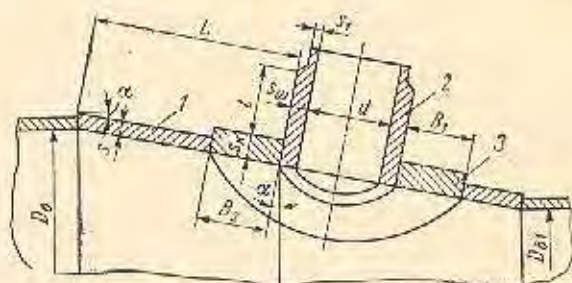


Рис. 18.7. Укрепление отверстия в конической обечайке или коническом днище (из хрупких материалов):

1 — коническая обечайка; 2 — штуцер; 3 — усиленная часть конической обечайки

при $\varphi = \varphi_2$ — по формуле

$$B'_2 = 1,4 \sqrt{R_2 s_k}, \quad (18.38)$$

где

$$R_2 = \frac{D_0}{\sqrt{1 + 3 \sin^2 \varphi_2}} \text{ мм (см)}.$$

Расчетная длина усиленной части штуцера l' определяется по формуле (18.34).

В тех случаях, когда $s_k \leq s$ и $s_{ш} \leq s_1$, укрепления отверстия не требуется.

Расчет укрепления отверстия для штуцера в конической обечайке или днище* (см. рис. 18.7) производится следующим образом. Номинальная расчетная толщина усиленной части обечайки или днища s'_k в мм (см) определяется по формуле

$$s'_k = \frac{D_0 p}{3\sigma_d \cos \alpha} \left[1 - 1,4 \sqrt{\frac{\sigma_d}{\rho} (\lambda \cos \alpha)^2} \right], \quad (18.39)$$

* Н. Г. Мазель, Г. И. Федяко, Б. А. Васильев. К расчету на прочность укрепления отверстий в конических обечайках и днищах сосудов и аппаратов, работающих под внутренним давлением. Сб. трудов НИИХиммаша «Вопросы прочности в химическом машиностроении» № 60, М., 1969.

Номинальная расчетная толщина усиленной части штуцера $s'_{ш}$ в м (см) определяется по формуле

$$s'_{ш} = \frac{D_0 p}{4\sigma_{\partial ш}} \left(\lambda - \sqrt{\frac{\lambda}{\cos \alpha}} + 2,4 \sqrt{\lambda \frac{\sigma_{\partial ш}}{\rho} \sqrt{\frac{s_{\kappa}}{D_0 \cos \alpha}} \right), \quad (18.40)$$

где

$$D_0 = D_0 - 2l \sin \alpha \text{ в м (см); } \lambda = \frac{d}{D_0}.$$

Толщины s_{κ} и $s_{ш}$ с учетом прибавок определяются по формуле (15.10).

Расчетная ширина усиленной части обечайки или дна B'_1 и B'_2 в м (см) определяется по формулам:

$$B'_1 = \sqrt{\frac{D_0 s_{\kappa}}{\cos \alpha}}, \quad (18.41)$$

$$B'_2 = \sqrt{\frac{s_{\kappa}}{\cos \alpha} [D_0 - 2(d + 2s_{ш}) \sin \alpha]}. \quad (18.42)$$

Расчетная длина усиленной части штуцера l' определяется по формуле (18.34).

Пример 18.3. Рассчитать укрепления отверстий в цилиндрической обечайке аппарата примера 15.1 под привариваемые к ней два штуцера по схеме l (рис. 18.3) с внутренними диаметрами: $d_1 = 0,8$ м и $d_2 = 0,15$ м из тех же материалов, что и в примере 18.1, но при условии эмалирования внутренней поверхности аппарата ($C_{\kappa} = 0$).

Из примеров 15.1 и 18.1 имеем: $D_0 = 2$ м; $\rho = 1,058 \text{ Мн/м}^2$; $\sigma_{\partial 1} = 140 \text{ Мн/м}^2$; $\sigma_{\partial 2} = 130 \text{ Мн/м}^2$; $s = 10$ мм; $s' = 7,95$ мм; $s_{ш1} = 10$ мм; $s_{ш2} = 4,5$ мм.

Производим расчет укреплений для каждого штуцера раздельно.

Первый штуцер $d_1 = 0,8$ м.

$$\lambda = \frac{d_1}{D_0} = \frac{0,8}{2,0} = 0,4.$$

Номинальную расчетную толщину усиленной части обечайки определяем по формуле (18.31)

$$s'_{\kappa} = \frac{D_0 p}{3\sigma_{\partial}} \left(1 + 1,4 \sqrt{\lambda^3 \frac{\sigma_{\partial}}{\rho}} \right) = \frac{1,058 \cdot 2,0}{3 \cdot 140} \left(1 + 1,4 \sqrt{0,4^3 \frac{140}{1,058}} \right) = 24,5 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 24,5 \text{ мм}.$$

Принимаем $s_{\kappa} = 25$ мм.

Номинальную расчетную толщину усиленной части штуцера определяем по формуле (18.32)

$$s'_{ш} = \frac{D_0 p}{4\sigma_{\partial}} \left(\lambda - \sqrt{\lambda} + 2,4 \sqrt{\lambda \frac{\sigma_{\partial}}{\rho} \sqrt{\frac{s_{\kappa}}{D_0}}} \right) = \frac{1,058 \cdot 2,0}{4 \cdot 140} \left(0,4 - \sqrt{0,4} + 2,4 \sqrt{0,4 \frac{140}{1,058} \sqrt{\frac{0,025}{2,0}}} \right) = 21,2 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 21,2 \text{ мм}.$$

Принимаем $s_{ш} = 22$ мм.

Расчетную ширину усиленной части обечайки определяем по формуле (18.33)

$$B' = \sqrt{D_0 s_{\kappa}} = \sqrt{2 \cdot 0,025} = 0,224 \text{ м}.$$

Принимаем $B = 225$ мм.

Расчетную длину усиленной части штуцера определяем по формуле (18.34)

$$l' = \sqrt{(d_1 + s_{ш}) s_{ш}} = \sqrt{(0,8 + 0,022) \cdot 0,022} = 0,1345 \text{ м}.$$

Принимаем $l = 135$ мм.

Второй штуцер $d_2 = 0,15$ м

$$\lambda = \frac{d_2}{D_0} = \frac{0,15}{2,0} = 0,075.$$

Номинальную расчетную толщину усиленной части обечайки определяем по формуле (18.31)

$$s'_{\kappa} = \frac{D_0 p}{3\sigma_{\partial}} \left(1 + 1,4 \sqrt{\lambda^3 \frac{\sigma_{\partial}}{\rho}} \right) = \frac{1,058 \cdot 2,0}{3 \cdot 140} \left(1 + 1,4 \sqrt{0,075^3 \frac{140}{1,058}} \right) = 11,4 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 11,4 \text{ мм}.$$

Принимаем $s_{\kappa} = 12$ мм.

Номинальную расчетную толщину усиленной части штуцера определяем по формуле (18.32)

$$s'_{ш} = \frac{D_0 p}{4\sigma_{\partial}} \left(\lambda - \sqrt{\lambda} + 2,4 \sqrt{\lambda \frac{\sigma_{\partial}}{\rho} \sqrt{\frac{s_{\kappa}}{D_0}}} \right) = \frac{1,058 \cdot 2,0}{4 \cdot 130} \left(0,075 - \sqrt{0,075} + 2,4 \sqrt{0,075 \frac{130}{1,058} \sqrt{\frac{0,012}{2,0}}} \right) = 7,43 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 7,43 \text{ мм}.$$

Принимаем $s_{ш} = 8$ мм.

Расчетную ширину усиленной части обечайки определяем по формуле (18.33)

$$B' = \sqrt{D_0 s_{\kappa}} = \sqrt{2,0 \cdot 0,012} = 0,155 \text{ м}.$$

Принимаем $B = 155$ мм.

Расчетную длину усиленной части штуцера определяем по формуле (18.34)

$$l' = \sqrt{(d_2 + s_{ш}) s_{ш}} = \sqrt{(0,15 + 0,008) \cdot 0,008} = 0,0356 \text{ м}.$$

Принимаем $l = 40$ мм.

Расчет укреплений отверстий в цилиндрической обечайке аппаратов высокого давления [163] производится следующим образом. Отверстия в цилиндрических обечайках аппаратов высокого давления допускаются только в случае крайней необходимости, обусловленной химико-технологическим процессом в аппарате. При этом диаметр отверстия d должен быть не более 0,75 от толщины стенки обечайки.

Такие одиночные отверстия в стенке обечайки, не требующие укрепления, допускаются при соблюдении

следующих двух условий:

$$Kp \leq \sigma_a^t, \quad (18.43)$$

$$Kp_n \leq \sigma_a^{20}, \quad (18.44)$$

где $K = f(\beta)$ — коэффициент, определяемый по графику (рис. 18.8);

p — расчетное внутреннее давление в аппарате в Мн/м^2 (кгс/см^2);

p_n — пробное гидравлическое давление при испытании аппарата в Мн/м^2 (кгс/см^2);

σ_a^t и σ_a^{20} — пределы прочности материала обечайки при расчетной температуре и температуре 20°C испытания аппарата в Мн/м^2 (кгс/см^2);

$\beta = \frac{D_n}{D_a}$ — отношение диаметров обечайки.

Если условия (18.43) и (18.44) не соблюдаются, отверстия должны быть укреплены соответствующим утолщением обечайки в месте отверстия до соблюдения этих условий.

Длина утолщенной части обечайки (рис. 18.9) выби-

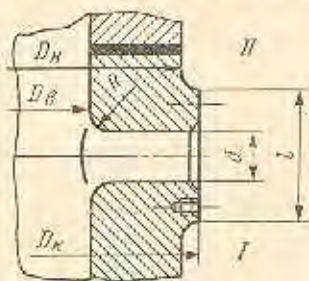


Рис. 18.9. Укрепление отверстий в цилиндрической обечайке аппаратов высокого давления;

I — для цельного корпуса; II — для составного на электродуговой сварке

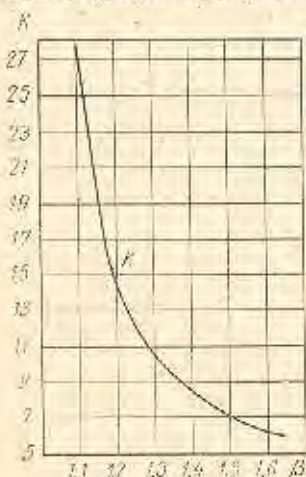


Рис. 18.8. График для определения коэффициента K в условиях (18.43) и (18.44)

рается из конструктивных соображений, но должна быть не менее

$$l' \geq \frac{D_k - D_a}{2}. \quad (18.45)$$

Внутренние кромки отверстий закругляются радиусом $R \geq (0,3 \div 0,4) d$. Чистота обработки отверстия и закругления не ниже $\nabla 6$.

Пример 18.4. Проверить необходимость укрепления отверстия диаметром $d = 0,05$ м в цельнокованной обечайке аппарата, рассчитанной в примере 15.5, по следующим данным: материал обечайки $\sigma_a^{20} = 700 \text{ Мн/м}^2$; (7000 кгс/см^2); $p_n = 75 \text{ Мн/м}^2$ (750 кгс/см^2).

В случае, если отверстие требует укрепления, определить размеры укрепляющих элементов.

Из примера 15.5 имеем: $D_a = 0,6$ м; $p = 60 \text{ Мн/м}^2$; $\sigma_a^{400} = 600 \text{ Мн/м}^2$; $D_n = 0,79$ м; $\beta = \frac{D_n}{D_a} = \frac{0,79}{0,6} = 1,315$; $s = 95$ мм. Проверим возможность наличия указанного отверстия в обечайке

$$\frac{d}{s} = \frac{0,05}{0,095} = 0,527 < 0,75,$$

т. е. отверстие возможно.

По графику рис. 18.8 для $\beta = 1,315$ находим значение коэффициента $K = 10$.

Проверим условия (18.43) и (18.44):

$$Kp \leq \sigma_a^{400}; \quad Kp = 10 \cdot 60 = 600 = \sigma_a^{400} = 600 \text{ Мн/м}^2;$$

$$Kp_n \leq \sigma_a^{20}; \quad Kp_n = 10 \cdot 75 = 750 > \sigma_a^{20} = 700 \text{ Мн/м}^2.$$

Поскольку второе условие не соблюдается, отверстие требуется укрепить утолщением обечайки в месте отверстия.

Определим величину K , удовлетворяющую условию

(18.44) $K \leq \frac{\sigma_a^{20}}{p_n} = \frac{700}{75} = 9,32$, по которому — по графику рис. 18.8 — находим коэффициент $\beta = 1,34$.

Откуда диаметр утолщенной обечайки $D_k = D_a \beta = 0,6 \cdot 1,34 = 0,804$ м.

Принимаем $D_k = 810$ мм.

Длину утолщенной части обечайки определяем по формуле (18.45)

$$l' = \frac{D_k - D_a}{2} = \frac{0,81 - 0,6}{2} = 0,105 \text{ м.}$$

Принимаем $l = 110$ мм.

Укрепление отверстий в плоских стенках

Расчет укрепления таких отверстий при отсутствии других данных рекомендуется производить приближенно в сторону запаса на основе компенсации вырезанного номинального расчетного сечения в стенке [99].

При этом, участвующими в укреплении отверстия элементами считаются части укрепляемой стенки, штуцера, накладки и т. д., расположенные вокруг отверстия на ширине до $0,5$ диаметра отверстия.

В соответствии с этим отверстие не требует укрепления (без учета привариваемых штуцера, накладки, бобышки и т. д.) при условии

$$s \geq 2s' + C_k. \quad (18.46)$$

При несоблюдении данного условия отверстия подлежат укреплению.

Площадь сечения отверстия F_o в стенке, подлежащая компенсации при требуемом укреплении, определяется по формулам:

для отверстий, закрываемых крышками, заглушками, затворами, для разъёмного ввода труб, предназначенных для привариваемых к стенкам штуцеров, труб и т. п.

$$F_o = s'd, \quad (18.47)$$

для отбортованных отверстий

$$F_o = s'(d + 2s_0). \quad (18.48)$$

Площадь сечения штуцера $F_{ш}$, участвующая в укреплении, определяется по формулам (18.9) или (18.10), а площадь накладки F_n — по формуле (18.13).

Ширина накладки или бобышки выбирается из конструктивных соображений так же, как и толщина их. Достаточность укрепления отверстия проверяется по формуле (18.6). При этом независимо от фактической ширины накладки или бобышки расчетная величина ширины их b' принимается не более $0,5d$.

В остальном расчет укреплений производится по соответствующим формулам (18.17) — (18.25), в которой части которых во всех случаях величина d_0 принимается равной нулю.

ТРУБЫ

Трубы, преимущественно цилиндрические и в большинстве случаев из пластичных материалов, в химическом аппаростроении имеют весьма широкое применение. Трубы являются основной составной частью различных типов трубных теплообменников. Из них изготавливаются многие внутренние и внешние узлы и детали аппаратов. Трубы больших диаметров из углеродистой стали применяются в качестве обечаек для корпусов аппарата.

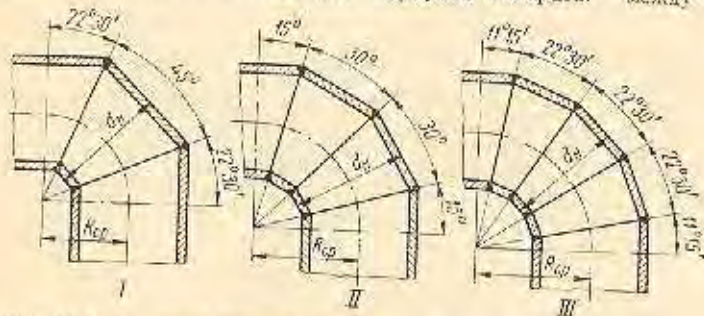


Рис. 19.1. Основные типовые конструкции сварных секторных отводов с углом поворота 90°: I — при $R_{cp} \geq 0,75 d_n$; II — при $R_{cp} \geq 0,9 d_n$; III — при $R_{cp} \geq d_n$

Выбор материала труб, используемых в качестве узлов и деталей аппарата, должен быть согласован с материалом сопрягаемых с ними деталей аппарата в части коррозионной стойкости, сварки, пайки и т. д.

Сортаменты труб, применяемых в химическом аппаростроении, приведены в соответствующих главах первого раздела.

Обычно трубы характеризуются наружным диаметром и толщиной стенки $d_n \times s$.

При изготовлении узлов и деталей из труб очень часто требуется их гнуть. Гибка труб из пластичных материалов с $d_n \leq 50$ мм производится в большинстве случаев в холодном состоянии, а трубы с $d_n > 50$ мм — и нагретом. Средний радиусгиба трубы рекомендуется выбирать $R_{cp} \geq 3d_n$. Трубы из цветных металлов и сплавов допускается гнуть радиусом $R_{cp} \approx 2d_n$. Рекомендуемые минимальные радиусыгиба труб приведены в соответствующих таблицах первого раздела.

В случаях необходимости наличия крутых гибов труб целесообразно применять нормализованные крутоизогнутые штампованные приварные отводы с малыми радиусамигиба ($R_{cp} \approx 2d_n$) и углами 45, 60 и 90°. Такие отводы для p_y до 10 МПа изготавливаются из углеродистой стали на $D_y = 40-1000$ мм по МН 2913-62—МН 2915-62 и из легированной стали на $D_y = 40-450$ мм по МН 4754-63—МН 4756-63.

При необходимости иметь изгиб трубы (из пластичных материалов) радиусом $R_{cp} < 2d_n$ для $p_y \leq 10$ МПа, а также при изгибе труб больших диаметров следует применять сварные секторные отводы. Основные типовые конструкции сварных секторных отводов с углом поворота 90° показаны на рис. 19.1. Аналогично последним могут быть выполнены и отводы с углом поворота большим и меньшим 90°.

Сварные двух-, трех- и четырехсекторные отводы с радиусомгиба $R_{cp} \approx 1,5d_n$, углами 30, 45, 60 и 90° нормализованы и изготавливаются:

для p_y до 6,4 МПа — из углеродистой стали на $D_y = 150-1600$ мм по МН 2877-62—МН 2882-62 и из легированной стали на $D_y = 150-400$ мм по МН 4739-63—МН 4744-63;

для p_y до 0,6 МПа — из латуни на $D_y = 100-1000$ мм по МН 1114-60—МН 1122-60 и из меди на $D_y = 100-500$ мм по МН 1138-60—МН 1145-60;

для p_y до 0,25 МПа — из алюминиевых сплавов на $D_y = 100-1000$ мм по МН 1101-60—МН 1109-60.

На рис. 19.2 показана допускаемая для $p_y \leq 10$ МПа конструкция поворота трубы на 180° с малым расстоянием между параллельными ветвями ее.

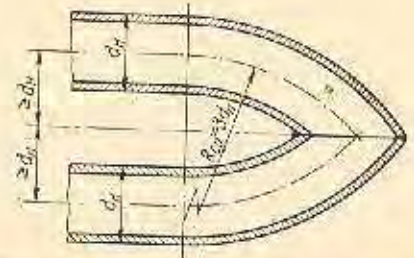


Рис. 19.2. Конструкция сварного поворота трубы на 180° с малым расстоянием между параллельными ветвями ее

На рис. 19.3 показаны основные типовые конструкции неразъемного соединения труб между собой.

Глубина растрюби h (I) в соединениях на мягком припое и на клею определяется по формуле (25.14).

Неразъемное подсоединение (врезка) одной трубы к другой под углом осуществляется сваркой или пайкой твердым припоем. Типовые конструкции таких подсоединений показаны на рис. 19.4.

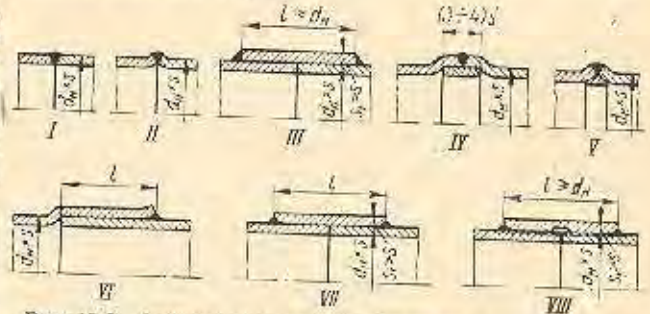


Рис. 19.3. Основные типовые конструкции неразъемного соединения труб между собой:

I—V—сварные соединения (I, II, IV и V — для $p_y \leq 20$ МПа; III — для $p_y \leq 10$ МПа); VI—VII — фланцевые соединения для $p_y \leq 6,4$ МПа; VIII — резьбовое соединение с пайкой или сваркой для $p_y \geq 2,5$ МПа

Указанное подсоединение целесообразно выполнять и с помощью приварных нормализованных тройников, которые бывают равнопроходные и переходные. Такие тройники изготавливаются:

для p_y до 10 МПа — из углеродистой стали на $D_y = 40-1600$ мм сварные по МН 2886-62 и 2887-62 и на $D_y = 10-400$ мм штампованные по МН 2909-62—МН 2911-62, 2916-62 и 2917-62, из легированной стали на $D_y = 50-400$ мм сварные по МН 4745-63—МН 4748-63 и на $D_y = 10-450$ мм штампованные по МН 4752-63, 4753-63, 4757-63 и 4758-63;

для p_y до 20 Мн/м^2 — из латуни на $D_y = 10 + 50$ мм
тампованные или кованые по МН 1127—60 — МН
129—60;
для p_y до 0,5 Мн/м^2 — из меди на $D_y = 100 + 350$ мм
варные по МН 1147—60 — МН 1149—60.

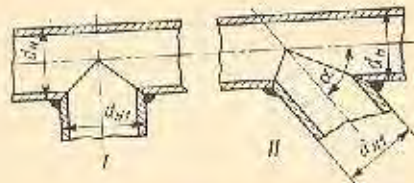


Рис. 19.4. Типовые конструкции сварного подсоединения (врезка) одной трубы к другой под углом:

I — под прямым углом; II — под углом α при $90^\circ > \alpha \geq 45^\circ$. Диаметр подсоединяемой трубы $d_{н1} \leq d_n$.

Трубы, работающие без давления и других нагрузок, выбираются с минимальными толщинами стенок по сортаментам, исходя из конструктивных и технологических соображений, а также соображений жесткости.

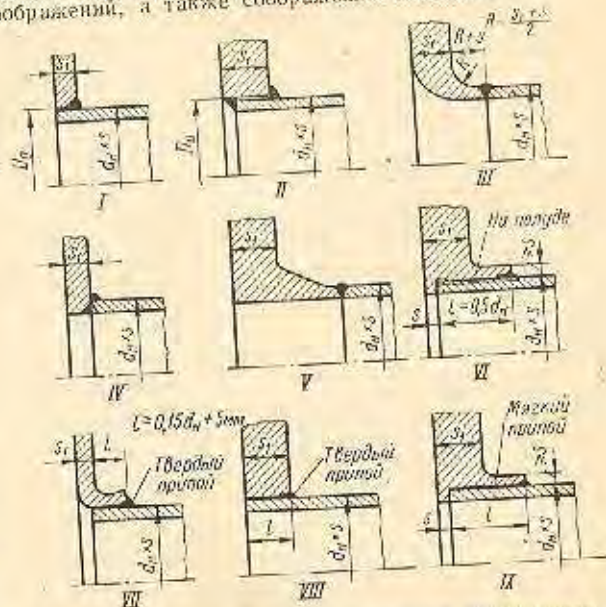


Рис. 19.5. Основные типовые конструкции неразъемного присоединения труб к различным частям аппаратов:

I—V — сварные соединения (I — при $s \geq 0,6 s_1$ — к стенкам для $p_y < 10 \text{ Мн/м}^2$; II — при $s < 0,6 s_1$ — к стенкам для $p_y < 6,4 \text{ Мн/м}^2$ и к фланцам для $p_y < 2,5 \text{ Мн/м}^2$; III — к стенкам и фланцам для $p_y \leq 10 \text{ Мн/м}^2$; IV — при $s \geq 0,4 s_1$ — к стенкам и фланцам для $p_y < 6,4 \text{ Мн/м}^2$; V — при $s < 0,6 s_1$ — к фланцам для $p_y \geq 2,5 \text{ Мн/м}^2$); VI — разъемное соединение на полуде — для $p_y \geq 2,5 \text{ Мн/м}^2$; VII—IX — паяные к стенкам и фланцам для $p_y \leq 1,6 \text{ Мн/м}^2$; VIII — соединения (VII — к стенкам для $p_y \leq 6,4 \text{ Мн/м}^2$; IX — к стенкам и к фланцам для $p_y < 1,6 \text{ Мн/м}^2$). Величина l (h) в соединениях VII—IX определяется по формуле (12.5)

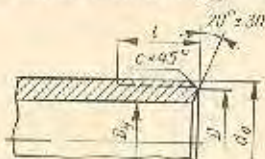
Расчет труб, работающих под внутренним давлением

Определение номинальной расчетной толщины стенки таких труб s' прямых или гнутых (с $R_{cp} \geq 2d_n$) исходя из прочности рекомендуется производить по формулам, приведенным в табл. 15.6 и 15.8, в зависимости от конструктивного материала, величин отношения определяющих параметров σ_3 и ρ с учетом коэффициента ослабления ϕ трубы в продольном направлении в данном случае (преимущественно за счет сварного шва при наличии такового).

Таблица 19.1

Диаметр отверстий под трубы d в стенках и фланцах сварной аппаратуры в зависимости от d_n трубы

d_n , мм	≤ 20	> 20 до 50	> 50 до 70	> 70 до 100	> 100 до 200	> 200
d , мм	$(d_n + 0,5)^{+0,1}$	$(d_n + 0,8)^{+0,2}$	$(d_n + 1,5)^{+0,3}$	$(d_n + 2,5)^{+0,4}$	$(d_n + 3,5)^{+0,5}$	$1,02d_n^{+0,5}$

Концевые части труб в разъемных соединениях для $p_y = 20 \div 100 \text{ Мн/м}^2$ (по ГОСТу 9400—63) Таблица 19.2

p_y , Мн/м ²	D_y	d_o	l	c	p_y , Мн/м ²	D_y	d_o	l	c	p_y , Мн/м ²	D_y	d_o	l	c
20—100	6	M14×1,5	22	1	20—40	70	M100×3	65	2	20—25	125	M155×4	90	3
	10	M24×2	28	1,5	50—64		M110×3	70		32—40		M175×6	105	
	15	M33×2	35		80—100		M125×4	75		50—64		M190×6	110	
20—64	25	M42×2	40	1,5	20—25	90	M110×3	70	80—100	150	M215×6	120	4	
80—100		M48×2			75		20—25	M190×6	110					
20—40	32	M56×3	50	2	32—40	100	M125×4	75	32—40	200	M215×6	120	4	
50—64					50—64		M135×4	85	50—64		M240×6	130		
80—100	40	M64×3	55	2	20—25	100	M155×4	90	80—100	200	M265×6	155	4	
20—64					32—40		M135×4	85	20—25		M240×6	130		
80—100	60	M80×3	65	2	50—64	100	M155×4	90	32—40	200	M265×6	155	4	
20—64					80—100		M175×6	105	50—80		M295×6			155

Примечания:

1. Материал и размеры труб см. в табл. 2.38, а значения D_y — в табл. 20.6.
2. Разъемные соединения труб осуществляются с помощью резьбовых фланцев (см. табл. 21.33) с уплотнительными сферическими линзами (см. табл. 20.12).

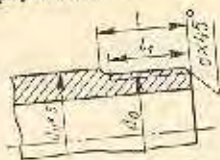
Концевые части труб в разъемных соединениях для $p_y = 150 \text{ Мн/м}^2$ (по данным Иркутского филиала Гиронефтемаша) Таблица 19.3

D_y	$d_n \times z$	d_o	l	l_1	c	Уплотнение			
						конусное		линзовое	
						d , мм	α , град	d , мм	α , град
3	10×3,5	M10×1	—	35	1	10	—	—	—
6	15×4,5	M14×1,5	22	32	1,5	11	90	10	140
10	25×7	M24×2	28			19		18	
15	35×9	M33×2	35	42	1,5	25,5	90	28	140
25	50×12	M48×2	40			40		55	
32	68×18	M64×3	50	60	2	50	90	68	140
40	89×24	M85×3	60			70		86	
60	108×26	M105×3	70	80	2	86	90	90	140

Примечания:

1. Материал труб — для $D_y = 3 \text{ мм}$ — сталь марки 3ХМА, для $D_y = 6 \div 60 \text{ мм}$ — сталь марки ХЭМВФ.
2. Разъемное соединение труб осуществляется с помощью резьбовых муфт для $D_y = 3 \div 10 \text{ мм}$ (см. табл. 22.3), резьбовых фланцев для $D_y = 6 \div 60 \text{ мм}$ (см. табл. 21.25).
3. Уплотнение — конусными кольцами и линзами (см. табл. 20.15).

Концевые части труб в разъемных соединениях для $p_H = 250 \text{ МПа}$
(по данным Иркутского филиала НИИХиммаша)



D_H	$d_H \times c$	d_0	l	l_1	c
		мм			
3	12×4,5	M10×1	20	30	1
6	17×5,5	M16×1,5	30	40	1,5
10	28×9	M27×2	40	50	
15	40×12,5	M39×2	45	55	2
25	63×19	M60×3	60	75	
32	79×22,5	M76×3	70	85	
40	98×29	M95×3	85	100	

Примечания:
1. Материал труб — сталь марок 20Х3МВФ и 1Х13В2МФ.
2. Разъемные соединения труб осуществляется с помощью: резьбовых муфт для $D_H = 3+15 \text{ мм}$ (см. табл. 22.4), резьбовых фланцев для $D_H = 25+40 \text{ мм}$ (см. табл. 21.26).
3. Уплотнение — коническими линиями (см. табл. 20.16).

Толщина стенки трубы s с учетом прибавок определяется по формуле (15.10).
Выбор прибавки C см. в гл. 14. При этом прибавку C_0 округление толщины следует принимать, исходя из ближайшего большего размера по соответствующему сорту на трубы.

Для металлических труб при определении суммарной прибавки C следует вводить еще дополнительную технологическую прибавку C_3 , значение которой в мм определяется по формуле [119]

$$C_3 = ks' \geq 0,5, \quad (19.1)$$

где k — коэффициент, берется по табл. 19.5.

Таблица 19.5

Коэффициент k в формуле (19.1) в зависимости от технологического допуска на толщину стенки трубы [119]

Трубы	Наибольший минусовой допуск на толщину стенки, %				
	15	12,5	10	5	
Прямые	0,18	0,14	0,11	0,05	
Гнутые при	$1,9 \leq \frac{R_{cp}}{d_n} \leq 3,5$	0,2	0,17	0,15	0,1
	$\frac{R_{cp}}{d_n} > 3,5$	0,18	0,15	0,12	0,06

Пример 19.1. Определить толщину стенки прямой бесшовной трубы в аппарате, подверженной внутреннему давлению, по следующим данным: материал трубы — сталь марки 20 ($\sigma_d = 147 \text{ МПа}$); $d_n = 0,057 \text{ м}$; $p = 20 \text{ МПа}$ (200 кгс/см^2); допуск по толщине стенки — 15%; среда инертная ($C_k = 0$).

Определим отношение определяющих параметров σ_d и p ($\varphi = 1$)

$$\frac{\sigma_d}{p} \varphi = \frac{147}{20} \cdot 1 = 7,35 < 25.$$

Номинальную расчетную толщину стенки трубы для данного отношения согласно табл. 15.6 определяем по формуле (15.2)

$$s' = \frac{d_n p}{2\sigma_d \varphi + p} = \frac{0,057 \cdot 20}{2 \cdot 147 \cdot 1 + 20} = 3,64 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 3,64 \text{ мм}.$$

Определим технологическую прибавку к номинальной расчетной толщине стенки трубы по формуле (19.1). Коэффициент k берем по табл. 19.5, $k = 0,18$

$$C_3 = ks' = 0,18 \cdot 3,64 = 0,655 \text{ мм}.$$

Выбираем прибавку на округление толщины стенки (до ближайшего большего размера по сортаменту) $C_0 = 0,205 \text{ мм}$.

Суммарную прибавку к номинальной расчетной толщине стенки определяем по формуле (14.12)

$$C = C_k + C_0 + C_3 = 0 + 0 + 0,655 + 0,205 = 0,86 \text{ мм}.$$

Толщину стенки трубы с учетом прибавок определяем по формуле (15.10)

$$s = s' + C = 3,64 + 0,86 = 4,5 \text{ мм}.$$

Расчет труб, работающих под наружным давлением

Номинальная (без прибавок) расчетная толщина стенки таких труб s' в мм (см) из пластичных металлических материалов, исходя из устойчивости их в пределах упругости (при запасе на устойчивость $n_u = 2,6$), определяется:

для относительно длинных труб, а также обечайек (приблизительно при $\frac{l}{d} > 5$) по формулам (ОН 26-01-13-65):
 при базовом внутреннем диаметре d_0

$$s' = 1,09d_0 \sqrt[3]{\frac{p_n}{E\tau}} \quad (19.2)$$

при базовом наружном диаметре d_n

$$s' = \frac{1,09d_n \sqrt[3]{\frac{p_n}{E\tau}}}{1 + 2,18 \sqrt[3]{\frac{p_n}{E\tau}}} \quad (19.3)$$

где d_0 и d_n — внутренний и наружный диаметры трубы (обечайки) в мм (см);

p_n — расчетное наружное давление в Мн/м^2 (кгс/см^2);

$E\tau$ — модуль упругости материала трубы (обечайки) при расчетной температуре ее в Мн/м^2 (кгс/см^2).

Толщина стенки s с учетом прибавок [в том числе и технологической — см. формулу (19.1)] определяется по формуле (15.10).

Формулы (19.2) и (19.3) справедливы при соблюдении следующих двух условий (ОН 26-01-13-65):

$$\frac{l}{d_n} > \sqrt{\frac{d_0}{2(s - C_k)}} \quad (19.4)$$

$$\frac{s - C_k}{d_n} \leq 0,95 \sqrt{\frac{\sigma_T^t}{E\tau}} \quad (19.5)$$

где σ_T^t — предел текучести материала трубы (обечайки) при расчетной температуре ее в Мн/м^2 (кгс/см^2). В случае несоблюдения (19.5), т. е. при

$$\frac{s - C_k}{d_0} > 0,95 \sqrt{\frac{\sigma_T^t}{E\tau}} \quad (19.6)$$

принятую величину s необходимо проверить на допускаемое избыточное наружное давление $p_{нд}$ в Мн/м^2 (кгс/см^2) по формуле (ОН 26-01-13-65):

$$p_{нд} = \frac{2\sigma_{сж}(s - C_k)}{d_0 \left[1 + 0,67 \frac{\sigma_T^t}{E\tau} \left(\frac{d_0}{s - C_k} \right)^2 \right]} \geq p_n \quad (19.7)$$

где $\sigma_{сж}$ — допускаемое напряжение на сжатие для материала трубы (обечайки) в Мн/м^2 (кгс/см^2).

При этом, если $p_{нд}$ будет отличаться от p_n более, чем на 5%, величину s следует (путем подбора) соответ-

ственно изменить, за исключением тех случаев, когда изменение в сторону уменьшения из конструктивных, технологических или каких-либо других соображений не представляется возможным.

При проверочных расчетах допускаемое наружное избыточное давление $p_{нд}$ в Мн/м^2 (кгс/см^2) для труб (обечайек), у которых имеют место условия (19.4) и (19.6), определяется по (19.7), а если имеют место условия (19.4) и (19.5), то по формуле (ОН 26-01-13-65)

$$p_{нд} = 0,85E\tau \left(\frac{s - C_k}{d_0} \right)^3 \geq p_n \quad (19.8)$$

Расчет на наружное давление труб (обечайек) из неметаллических и хрупких металлических материалов с некоторым приближением рекомендуется производить по приведенным выше формулам со следующими изменениями: вместо σ_T^t подставляется $0,5\sigma_T^t$; при определении s' по формулам (19.2) и (19.3), а также $p_{нд}$ по формуле (19.8) вводится поправка в виде множителя $\frac{n_0}{2,6}$. Причем этот множитель в формулах (19.2) и (19.3) вводится в подкоренные выражения. Значения $n_0 = n_u$ для разных материалов рассматриваемой трубы (обечайки) см. в гл. 14.

Пример 19.2. Определить толщину стенки прямой бесшовной трубы в аппарате, подверженной наружному давлению, по следующим данным: материал трубы — сталь марки 20 ($E^{200} = 0,182 \cdot 10^6 \text{ Мн/м}^2$; $\sigma_T^{200} = 220 \text{ Мн/м}^2$; $\sigma_{сж} = 136 \text{ Мн/м}^2$; $d_n = 0,057 \text{ м}$; $p_n = 4,0 \text{ Мн/м}^2$ (40 кгс/см^2); $t_c = 200^\circ \text{С}$; допуск по толщине стенки 15%; среда инертная ($C_k = 0$); длина трубы $l = 3 \text{ м}$.

Определим отношение длины трубы к ее диаметру

$$\frac{l}{d_n} = \frac{3}{0,057} = 52,7 > 5.$$

Поэтому номинальную расчетную толщину стенки трубы определяем по формуле (19.3)

$$s' = \frac{1,09d_n \sqrt[3]{\frac{p_n}{E\tau}}}{1 + 2,18 \sqrt[3]{\frac{p_n}{E\tau}}} = \frac{1,09 \cdot 0,057 \sqrt[3]{\frac{4,0}{0,182 \cdot 10^6}}}{1 + 2,18 \sqrt[3]{\frac{4,0}{0,182 \cdot 10^6}}} = 1,635 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 1,635 \text{ мм}.$$

Определим технологическую прибавку к номинальной расчетной толщине стенки трубы по формуле (19.1). Коэффициент k берем по табл. 19.5, $k = 0,18$.
 $C_d = ks' = 0,18 \cdot 1,635 = 0,294 \text{ мм} < 0,5 \text{ мм}$ минимальной.

Поэтому принимаем $C_d = 0,5 \text{ мм}$.

Выбираем дополнительную прибавку на округление толщины стенки (до ближайшего большего размера по сортаменту) $C_o = 0,365 \text{ мм}$.

Суммарную прибавку к номинальной расчетной толщине стенки с учетом технологической прибавки определяем по формуле (14.12)

$$C = C_k + C_s + C_d + C_o = 0 + 0 + 0,5 + 0,365 = 0,865 \text{ мм}.$$

Толщину стенки трубы с учетом прибавок определяем по формуле (15.10)

$$s = s' + C = 1,635 + 0,865 = 2,5 \text{ мм}.$$

* Получена из (19.2) путем замены в ней d_0 из $d_n - 2s'$.

Проверим справедливость расчета.
Условие (19.4):
левая часть

$$\frac{l}{d_e} = \frac{3}{0,052} = 57,7;$$

правая часть

$$\sqrt{\frac{0,052}{2 \cdot 0,0025}} = 3,23,$$

откуда $57,7 > 3,23$ и, следовательно, условие выполнено.
Условие (19.5)

$$\frac{s - C_k}{d_a} \leq 0,95 \sqrt{\frac{\sigma_r^t}{Et}}$$

Левая часть условия

$$\frac{2,5}{52} = 0,048;$$

правая часть условия

$$0,95 \sqrt{\frac{220}{0,182 \cdot 10^9}} = 0,0033,$$

откуда $0,048 > 0,0033$, т. е. условие не выполнено.

Поскольку условие (19.5) не выполнено, проверим толщину стенки трубы на допустимое наружное давление по формуле (19.7)

$$p_{\text{до}} = \frac{2\sigma_{c3}(s - C_k)}{d_a \left[1 + 0,67 \frac{\sigma_r^t}{Et} \left(\frac{d_a}{s - C_k} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{2 \cdot 136 \cdot 0,0025}{0,052 \left[1 + 0,67 \frac{220}{0,182 \cdot 10^9} \left(\frac{0,052}{0,0025} \right)^2 \right]} =$$

$$= 9,7 \text{ Мн/м}^2 > 4,0 \text{ Мн/м}^2,$$

т. е. принятая толщина стенки обеспечивает устойчивость трубы.

Исходя из полученного значения $p_{\text{до}}$ возможное утонение стенки трубы является нежелательным, так как толщина стенки принята наименьшая по сортаменту на трубы, имеющему на практике преимущественное применение.

Расчет труб, работающих под совместным действием внутреннего или наружного давления, осевой сжимающей или растягивающей силы и изгибающего и крутящего моментов производится по формулам, приведенным в гл. 15 для цилиндрических вальцованных сварных, цанговых и клееных обечайек.

При конструировании химических аппаратов очень часто приходится иметь дело с разъемными неподвижными прочно-плотными соединениями — фланцевыми, резьбовыми, байонетными, бигельными (крышки аппаратов и люков, присоединение труб к аппаратам, соединения труб между собой и т. д.). Прочно-плотный характер указанных соединений обычно обуславливается наличием избыточного давления или вакуума в аппарате.

Обтюрация (уплотнение неподвижных разъемных соединений) достигается сжатием с определенной силой, обеспечивающей герметичность уплотняемых поверхностей непосредственно друг с другом или через посредство расположенных между ними прокладок из более мягкого материала. Сжатие производится с помощью болтов или шпилек (во фланцевых соединениях), с помощью резьбы (в резьбовых соединениях), с помощью бигеля (в бигельных соединениях) и т. д.

В зависимости от действия на обтюрацию давления среды в аппарате различают обтюрацию без самоуплотнения (когда сила сжатия уплотняемых поверхностей в условиях рабочего давления уменьшается) и обтюрацию с самоуплотнением (когда сила сжатия уплотняемых поверхностей в условиях рабочего давления увеличивается или при определенных условиях остается без изменения). В связи с этим начальное сжатие при сборке соединения в обтюрациях без самоуплотнения и с самоуплотнением должно быть различным: в первом случае — максимальным, а во втором — минимальным. Более надежной для обеспечения герметичности является обтюрация с самоуплотнением, которая, кроме того, и более рациональна, так как требует приложения меньших усилий при начальном сжатии. Однако в химическом аппаратостроении в большинстве случаев применяется обтюрация без самоуплотнения, что объясняется в основном сложностью или невозможностью конструктивно осуществить обтюрацию с самоуплотнением во многих соединениях. Обтюрация с самоуплотнением применяется главным образом при высоких давлениях (в соединениях крышек, разъемных вводов и пр.), в некоторых соединениях аппаратов низкого и среднего давления (например, соединение верхней трубной решетки с корпусом в кожухотрубных теплообменниках с витыми трубами, плавающим сердечником и ложным кожухом). Вакуумные соединения большей частью представляют собой обтюрацию с самоуплотнением.

В табл. 20.1 приведены основные наиболее употребляемые типы обтюраций, применяемых в химических аппаратах. По способу уплотнения обтюрация делится на прокладочную, беспрокладочную и специальную.

Наибольшее распространение имеет прокладочная обтюрация, применяемая в соединениях низкого, среднего и высокого давления, а также при вакууме. Беспрокладочная обтюрация применяется в основном для малых D_u при высоких давлениях и в тех случаях, когда невозможно применить прокладки по температурным или каким-либо другим условиям. Специальная обтюрация имеет ограниченное применение: главным образом при высоких давлениях.

При выборе типа обтюрации следует иметь в виду, что прокладочная обтюрация при необходимости многократной разборки соединения (без смены прокладок) требует прокладок из высокоэластичных преимущественно неметаллических материалов (резина, прорезиненная ткань, пластикат, кожа). Несколько разборок (без смены прокладок) допускают прокладки из паронита, фибры, фторопласта, металлические прямоугольного и круглого сечений, комбинированные металлические с мягким наполнением плоские и гофрированные. Разового действия являются

прокладки из картона, асбестового картона, металлические зубчатые. Беспрокладочные обтюрации и обтюрации с металлическими липзовыми, овального и восьмиугольного сечения прокладками обычно требуют дополнительной шлифовки уплотняемых поверхностей почти после каждой разборки.

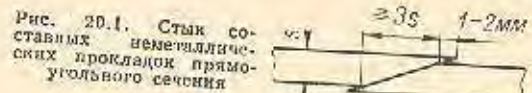
Кроме указанного, при выборе типа обтюрации необходимо принимать во внимание также экономические соображения, в частности наличие относительно большей стоимости обработки уплотняемых поверхностей в беспрокладочной обтюрации и обтюрации с металлическими прокладками.

Форма уплотнения во всех типах обтюрации в подавляющем большинстве случаев — кольцевая. Вместе с тем обтюрации типов I, II, III, V и VI наряду с кольцевой, могут применяться также прямоугольной и фасонной формы.

20.1. ПРОКЛАДОЧНАЯ ОБТЮРАЦИЯ

Для обеспечения лучшей герметичности и уменьшения необходимой для этого силы сжатия уплотняемых поверхностей там, где это допускается по температурным, коррозионным и другим условиям, помещается прокладка. Последняя должна быть из более мягкого материала, чем уплотняемые поверхности.

Прокладки по материалу могут быть неметаллические (органического и неорганического происхождения), ме-



таллические и комбинированные. Рекомендации по выбору материала прокладок в зависимости от среды, температуры и давления помещены в гл. 8.

Основные типы прокладок, применяемых в химическом аппаратостроении, приведены в табл. 20.2.

Конструкция и размеры уплотнительных поверхностей, а также отдельных типов прокладок для фланцевых соединений арматуры, соединительных частей, трубопроводов и аппаратов из черных и некоторых цветных металлов стандартизованы и нормализованы. В табл. 20.3—20.6 приведены основные данные об указанных уплотнительных поверхностях, а в табл. 20.7—20.16 — о прокладках для этих соединений.

Размеры прокладок прямоугольного сечения из неметаллических материалов для стандартизованных фланцевых соединений арматуры и трубопроводов рекомендуется принимать по табл. 20.17 с допусками по 7-му классу точности. Толщину прокладок прямоугольного сечения из металлических и неметаллических материалов рекомендуется принимать по табл. 20.18.

Прокладки прямоугольного сечения из неметаллических материалов для больших D_u допускается изготавливать из отдельных секторов, стык которых рекомендуется выполнять по рис. 20.1.

Стыки составных прокладок из резины и большинства других неметаллических материалов должны быть склеены, прокладки из фторопласта могут не склеиваться.

Размеры прокладок круглого сечения (тип 2) рекомендуется принимать по табл. 20.19.

Рекомендуемые конструктивные элементы и размеры прокладок — зубчатых (тип 3) и гофрированных (тип 5) — показаны соответственно на рис. 20.2 и 20.3, а профиль-

Основные типы обтюраций, применяемых в химической аппаратуре для разъёмных неподвижных прочно-плотных соединений

Тип	Эскиз	Наименование	Рекомендуемые границы применения		
			Среда	$p_c, \text{ МПа}$	$t_c, ^\circ\text{C}$
Прокладочные					
I		С прокладкой прямоугольного сечения между плоскими поверхностями	Инертная мало-агрессивная	$\leq 2,5$	≤ 540
II		С прокладкой прямоугольного сечения в выступ-впадине		$\geq 1,0$ до 20	
III		С прокладкой прямоугольного или круглого сечения в шип-пазу	Агрессивная, токсичная, взрыво-пожароопасная	≤ 40	≤ 250
IV		С прокладкой прямоугольного или круглого сечения в замке		Любая		Вакуум	$\leq 250$
			≥ 10 до 40		≤ 540
V		С прокладкой прямоугольного сечения в прямоугольном пазу	Инертная, мало-агрессивная	Вакуум	≤ 100
VI		С фасонной прокладкой в пазу формы ласточкина хвоста		$< 0,1$ и вакуум	
VII		С линзовой прокладкой между коническими поверхностями	Любая	$\geq 6,4$ до 250	≤ 540
VIII		С прокладкой овального или восьмиугольного сечения в фасонных канавках		$\geq 6,4$ до 20	


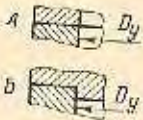
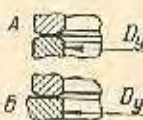
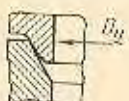
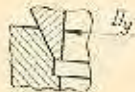

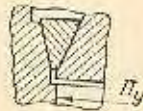


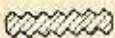








Тип	Эскиз	Наименование	Рекомендуемые границы применения		
			Среда	p_c , Мн/м ²	t_c , °С
IX		С прокладкой трапециевидального сечения в замке	Взрыво-пожаро-опасная	≥ 10 до 100	≤ 540
X		С плоскими уплотняемыми поверхностями	Любая	≤ 150	В пределах стойкости материала
XI		С плоской и сферической или двумя сферическими уплотняемыми поверхностями		> 10 до 100	
XII		С конической и сферической уплотняемыми поверхностями		≤ 20	
XIII		С двумя коническими уплотняемыми поверхностями		≤ 10 до 100	
Специальные					
XIV		С obturatorом, имеющим двустороннюю конусность	Любая	≥ 20 до 100	≥ -50 до 400
XV		С obturatorом, имеющим наружную и внутреннюю конусности		≥ 30	В пределах стойкости материала

Таблица 20.2

Основные типы прокладок, применяемых в химической аппаратуре

Тип про- кладки	Форма поперечного сечения	Наименование прокладки	Материал	Тип обтюрации	Рекомендуемые границы применения		
					D_y , мм	ρ_c , Мн/м ²	t_c , °С
1		Прямоуголь- ного сечения	Резина, картон	I, II	≤ 3000	≤ 0,6	От -30 до +100
			Прорезиненная ткань			≤ 10,0	
			Асбестовый картон			≤ 1,6	≤ +500
			Пластикат, поли- этилен			≤ 4,0	От -30 до +60
			Фибра, кожа	I, II, III-A, IV-A	≤ 1000	≤ 20,0	От -200 до +50
			Паронит			≤ 10,0	От -200 до +400
			Фторопласт			От -200 до +250	
			Вакуумная резина	III-A, IV-A	≤ 1000	Вакуум	От -30 до +100
Алюминий, медь, латунь, монель, сви- нец, никель, сталь	От 50 до 800	От 10,0 до 40,0	От -200 до +300				
2		Круглого сечения	Вакуумная резина	IV-B	От 50 до 1000	Вакуум	От -30 до +100
			Алюминий, медь, латунь, монель, сви- нец, никель, сталь		≤ 200	От 2,5 до 10,0	От -200 до +300
3		Зубчатая	Сталь углеродистая и высоколегирован- ная	II	От 25 до 400	От 4,0 до 10,0	От +200 до +540
4		Плоская	Комбинированный (асбестовый картон в оболочке из стали, алюминия, меди, ла- туни, никеля, мо- неля)	I, II, III-A	От 400 до 2200	От 1,0 до 6,4	От -200 до +540
5		Гофриро- ванная			≤ 400		

Продолжение табл. 20.2

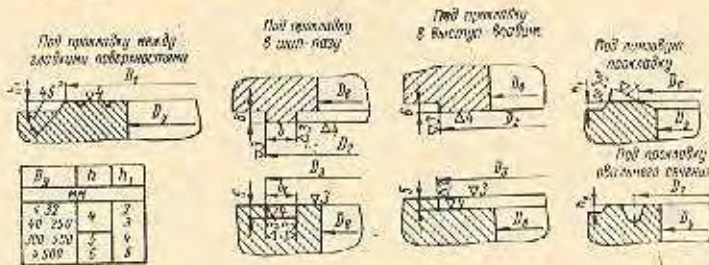
Тип прокладки	Формы поперечного сечения	Наименование прокладки	Материал	Тип обтюрации	Рекомендуемые границы применения		
					$D_{\text{у}}$, мм	p_c , МПа	t_c , °C
6		Квадратного сечения	Вакуумная резина	V	≤ 1000	Вакуум	От -30 до +60
7		Профильная	Резина, пластикат	VI		≤ 0,1	
8		Линзовая	Сталь углеродистая, легированная и высоколегированная	VII	≤ 300	От 6,4 до 250	От -200 до +540
9		Овального сечения		VIII	≤ 400	От 6,4 до 20,0	
10		Восьмиугольного сечения		VIII	От 400 до 1600	От 4,0 до 6,4	
11		Трапецидального сечения	Алюминий, медь, латунь, монель, свинец, никель, сталь	IX	От 50 до 600	От 10 до 100	От -200 до +300

Примечания:

1. Типы обтюраций см. в табл. 20.1.
2. Рекомендации по выбору материала прокладок в зависимости от среды см. в гл. 8.

Таблица 20.3

Уплотнительные поверхности во фланцах арматуры, соединительных частей и трубопроводов из черных металлов (по ГОСТам 1235—67, 12815—67, 12821—67, 12822—67, 12823—67, 12824—67, 12825—67, 12830—67, 12831—67, 12832—67, 12833—67, 12835—67, 1268—67, 12834—67, 1272—67)

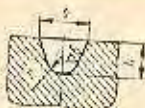


D_2	$D_4, \text{ МПа/М}^2$											
	0,6		1—16		1—10		6,4 и 10		16		20	
	D_2	D_4	D_2	D_4	D_2	D_4	D_2	D_4	D_2	D_4	D_2	D_4
мм												
10	29	19	34	19	18	35	—	—	—	—	—	
15	33	23	39	29	24	45	24	35	27	28	40	
20	43	33	50	36	30	50	30	45	34	32	45	
25	51	41	57	43	35	55	35	50	41	37	50	
32	59	49	65	51	43	65	43	65	—	43	65	
40	69	55	75	61	52	75	52	75	55	55	75	
50	80	66	87	73	63	85	63	95	69	63	95	
65	100	86	109	95	85	110	85	110	96	90	130	
80	115	101	149	129	97	115	97	130	115	97	160	
100	137	117	175	155	124	145	124	160	137	115	190	
125	166	146	203	183	153	175	153	190	169	145	205	
150	191	171	259	239	181	205	181	205	189	175	240	
200	249	229	312	292	243	265	243	275	244	225	305	
250	303	283	363	343	298	320	298	330	318	—	—	
300	356	336	421*	395	345	375	345	380	—	—	—	
350	406	386	473*	447	394	420	—	—	—	—	—	
400	456	436	575**	549**	445	480	—	—	—	—	—	
500	561	541	677**	651**	—	—	—	—	—	—	—	
600	661	635	877***	851***	—	—	—	—	—	—	—	
800	867	841	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Примечания:
 1. Область применения уплотнительных поверхностей в зависимости от их типа ограничивается следующими p_H :
 для уплотнений с гладкими уплотнительными поверхностями и в выступ-овальное $p_H \leq 20 \text{ МПа/М}^2$;
 для уплотнений в шип-пазу $p_H \leq 10 \text{ МПа/М}^2$;
 для уплотнений с прокладками ливцовыми и овального сечения $p_H = 6,4 \div 20 \text{ МПа/М}^2$.
 2. Уплотнительные поверхности предназначены:
 с гладкими поверхностями, шип-пазом и выступ-овальной — для мягких или металлических с мягкой набивкой прокладок;
 с конической поверхностью и фасонной канавкой — для прокладок ливцовых и овального сечения из углеродистых или легированных сталей.
 3. Размеры D_4 см. в табл. 21.9.
 4. Размеры канавки под овальную металлическую прокладку см. и табл. 20.4.
 5. Размеры: $D_2 = D_4 + 1$; $D_3 = D_4 + 1$.

* Только до 10 МПа/М².
 ** Только до 6,4 МПа/М².
 *** Только до 4,0 МПа/М².

Размеры уплотнительной канавки для прокладки овального сечения во фланцах арматуры, соединительных частей и трубопроводов из черных металлов (по ГОСТам 12825—67, 12833—67)



D_y	$P_y, \text{Мн/м}^2$											
	6,4			10			16			20		
	b	h	r	b	h	r	b	h	r	b	h	r
	мм											
≤ 40	9	6,5	2,8	9	6,5	2,8	9	6,5	2,8	9	6,5	2,8
50—100	12	8	4	12	8	4	12	8	4	12	8	4
125							14	10	4,2	17	11	5,8
150							17	11	5,8	23	14	8,5
200												
250							17	11	5,8	23	14	8,5
300	17	11	5,8	23	14	8,5						
350 и 400	17	11	5,8	23	14	8,5	—	—	—	—	—	—

ных (тип 7) и линзовых (тип 8) для $D_y > 200$ мм — приведены соответственно в табл. 20.20 и 20.21.

Зубчатые прокладки изготавливаются путем обработки на станке, гофрированные — штамповкой, а профильные — большей частью из шпура заданного профиля со скосенным по размеру h стыком на клею, аналогично рис. 20.1, но без напуска в 1—2 мм.

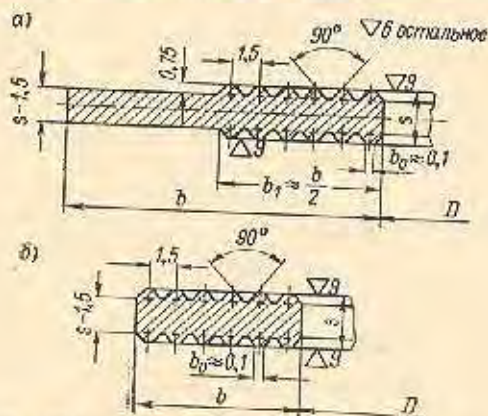


Рис. 20.2. Конструктивные элементы зубчатых (тип 8) прокладок: а — для обтюрации типа II; б — для обтюрации типа III-A. Количество зубцов z зависит от величины b

Рекомендуемые конструктивные элементы уплотнительных поверхностей для прокладочных обтюраций типов III (для металлических прокладок), IV, V, VI и IX приведены соответственно в табл. 20.22, 20.23, 20.24, 20.25 и 20.26.

При прямоугольных или фасонных прокладках шпирю сетения их, а также конструктивные элементы уплот-

няемых поверхностей в обтюрациях типов I, II, III, V и VI рекомендуется принимать аналогично кольцевым по соответствующим размерам D для последних (условный диаметр $D_y \approx \frac{L+B}{2}$).

Во всех типах обтюрации осевое сжатие прокладок, во избежание задира их, должно производиться без отсительного вращения уплотняемых поверхностей. Последнее рекомендуется допускать лишь в соединениях при $D_y \leq 20$ мм.

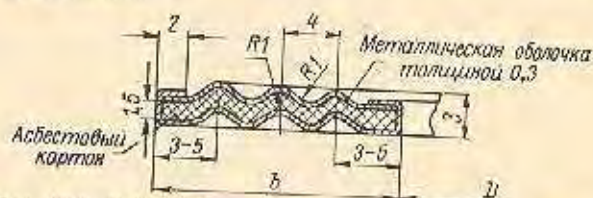


Рис. 20.3. Конструктивные элементы гофрированных (типа 5) прокладок. Количество гофров z зависит от величины b

Расчет прокладочных обтюраций производится следующим образом. Обтюрация, выбранная по соответствующим ГОСТам, нормаям или по приведенным выше рекомендациям, должна быть рассчитана на герметичность соединения в рабочих условиях, для чего необходимо определить расчетную силу осевого сжатия, требуемую для обеспечения герметичности.

Указанная расчетная сила осевого сжатия прокладки P'_n в Мн (кгс) определяется по формулам:

для прокладок типов I—7 в обтюрациях типов I—III, VI и VIII при $p < 10 \text{ Мн/м}^2$

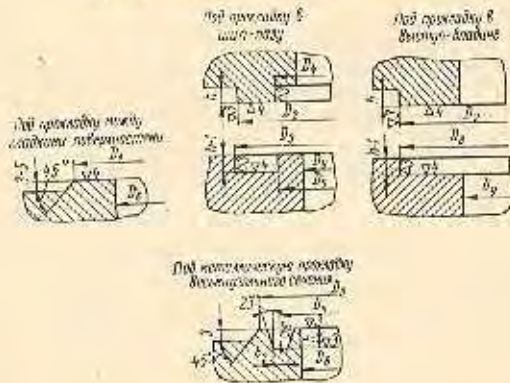
$$P'_n \geq \pi D_n b_p k p^* \quad (20.1)$$

* В прямоугольных соединениях вместо πD_n подставляется средний диаметр уплотнения l_n .

Таблица 20.5

Продолжение табл. 20.5

Уплотнительные поверхности во фланцах стальных сварных аппаратов (по данным Гиронефтемаша)



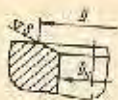
P_{y1} Мн/м ²	D_0	D_1	D_2	D_3	D_4	δ	δ_1	δ_2	k		
	мм										
$\leq 0,6$ 1,0—2,5 4,0—6,4	400	458 462	458 462	460 465	— 400	13	15	—	—		
$\leq 0,6$ 1,0—2,5 4,0—6,4	450	508 520	508 517	510 520	— 510			—	—	7	8
$\leq 0,6$ 1,0—2,5 4,0—6,4	500	558 570	558 567	560 570	— 560			—	—	7	8
$\leq 0,6$ 1,0—2,5 4,0—6,4	600	657 670	657 667	660 670	— 685			—	—	9	8
$\leq 0,6$ 1,0—2,5 4,0—6,4	700	757 770	757 767	760 770	— 785			—	—	—	—
$\leq 0,6$ 1,0—2,5 4,0—6,4	800	857 875 885	857 872 882	860 875 885	— 905 900			16	19	9	12
$\leq 0,6$ 1,0—2,5 4,0—6,4	900	957 975 982	957 972 979	960 975 982	— 1025			13	15	—	—
$\leq 0,6$ 1,0—2,5 4,0—6,4	1000	1057 1075 1090	1057 1072 1087	1060 1075 1090	— 1120			13	15	—	—
$\leq 0,6$ 1,0—2,5 4,0—6,4	—	— 1117 1162	— 1117 1162	— 1120 1165	— 1120			20	23	12	13

P_{y1} Мн/м ²	D_0	D_1	D_2	D_3	D_4	b	b_1	b_2	k
	мм								
$\leq 0,6$ 1,0—2,5 4,0—6,4	1100	1157 1175	1157 1172	1160 1175	—	13	16	—	—
$\leq 0,6$ 1,0—2,5 4,0—6,4	1200	— 1262 1280	— 1262 1277	— 1265 1280	—	13	16	—	—
$\leq 0,6$ 1,0—2,5 4,0—6,4	1300	— 1302 1380	— 1362 1377	— 1365 1380	—	13	16	—	—
$\leq 0,6$ 1,0—2,5 4,0—6,4	1400	— 1462 1485	— 1462 1465	— 1465 1485	—	16	19	—	—
$\leq 0,6$ 1,0—2,5 4,0—6,4	1500	— 1561 1585	— 1561 1582	— 1565 1585	—	16	19	—	—
$\leq 0,6$ 1,0—2,5 4,0—6,4	1600	— 1666 1690	— 1666 1686	— 1670 1690	—	16	19	—	—
$\leq 0,6$ 1,0—2,5 4,0—6,4	1700	— 1766 1860	— 1766 1866	— 1770 1870	—	16	19	—	—
$\leq 0,6$ 1,0—2,5 4,0—6,4	1800	— 1866 1926	— 1866 1926	— 1911 1930	—	22	26	—	—
$\leq 0,6$ 1,0—2,5 4,0—6,4	1900	— 2066 —	— 2066 —	— 2070 —	—	16	19	—	—
$\leq 0,6$ 1,0—2,5 4,0—6,4	2000	— 2275 —	— 2275 —	— 2380 —	—	22	26	—	—
$\leq 0,6$ 1,0—2,5 4,0—6,4	2200	— 2331 —	— 2331 —	— 2335 —	—	22	26	—	—
$\leq 0,6$ 1,0—2,5 4,0—6,4	2400	— 2475 —	— 2475 —	— 2480 —	—	18	22	—	—
$\leq 0,6$ 1,0—2,5 4,0—6,4	2600	— 2675 —	— 2675 —	— 2680 —	—	—	—	—	—
$\leq 0,6$ 1,0—2,5 4,0—6,4	2800	— 2875 —	— 2875 —	— 2880 —	—	—	—	—	—
$\leq 0,6$ 1,0—2,5 4,0—6,4	3000	— 3075 —	— 3075 —	— 3080 —	—	—	—	—	—

Примечания:
1. Область применения уплотнительных поверхностей в зависимости от их типа ограничивается следующими P_{y1} : для уплотнений с гладкими уплотнительными поверхностями $P_{y1} \leq 1,6$ Мн/м²; для уплотнений в выступ-впадине $P_{y1} = 1,0+6,4$ Мн/м²; для уплотнений в шпиг-пазу $P_{y1} \leq 6,4$ Мн/м²; для уплотнений с восьмиугольной прокладкой $P_{y1} = 6,4$ Мн/м².
2. Уплотнительные поверхности предназначены: с гладкими поверхностями, выступ-впадиной и шпиг-пазом — для мягких или металлических с мягкой набивкой прокладок; с фасонной канавкой — для прокладок восьмиугольного сечения из углеродистых и высоколегированных сталей.

Таблица 20.6

Уплотнительные поверхности под линзы
в соединениях на $p_y = 20 \div 250 \text{ Мн/м}^2$
(по ГОСТу 9400-63 — для p_y до 100 Мн/м^2
и для $p_y > 100 \text{ Мн/м}^2$ —
по данным Иркутского НИИХиммаша)



$p_y, \text{ Мн/м}^2$	D_y, D		$p_y, \text{ Мн/м}^2$	D_y, D	
	мм			мм	
20—150	6	10	20	100	115
	10	18			120
	15	28			125
20—50 64—150	25	37	50—100	125	130
		40			132
		43			
20—40 50 64—150	32	48	20	150	145
			25		155
			32—50		162
20—50 64—100 150	40	55	20	200	175
			25		185
			32—100		195
20—40 50—100 150	60	72	200	225	235
		82			245
		90			
20—40 50—100	70	95	Примечание. Уплотнительные поверх- сти на $p_y = 250 \text{ Мн/м}^2$ ко- нуса не имеют.		
20 25 32—50 64—100	90	100			
		105			
		115			
		120			

для прокладок типов I и II в обтюрациях типов III
(при $p \geq 10 \text{ Мн/м}^2$), IV и IX

$$P'_a \geq \pi D_n b_e q. \quad (20.2)$$

для прокладок типа 8 в обтюрации типа VII

$$P'_a \geq \pi D_n q_a \frac{\sin(\alpha + \rho_T)}{\cos \rho_T}, \quad (20.3)$$

где D_n — средний диаметр уплотнения в м (см);
 D_k — диаметр касания линзы в м (см);
 b_e — эффективная ширина уплотнения в м (см);
 p — расчетное давление среды в аппарате в Мн/м^2
(кгс/см^2);
 q — удельная нагрузка по площади уплотнения,
обеспечивающая герметичность, в Мн/м^2
(кгс/см^2);

q_k — удельная нагрузка по линии уплотнения, обес-
печивающая герметичность, в Мн/м (кгс/см);
 k — коэффициент, зависящий от материала и кон-
струкции прокладки;
 α — угол уклона конической поверхности под линзу
в град;

ρ_T — угол трения линзы по конической поверхности,
принимается для стали по стали 8—10°.

Значения эффективной ширины уплотнения b_e , а
также удельной нагрузки q и коэффициента k для различ-
ных типов прокладок приведены соответственно в табл.
20.27 и 20.28.

Значения удельной нагрузки q_k рекомендуется брать
по графику рис. 20.4, построенному по табличным данным
РТМ 42—62.

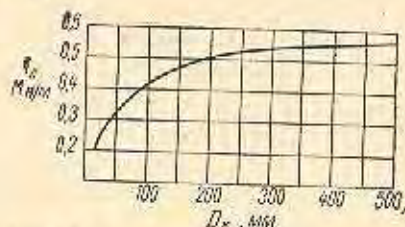


Рис. 20.4. График для определения удель-
ной нагрузки по линии уплотнения q_k
в формуле (20.3)

Расчетная ширина уплотнения b' в м (см) в обтюра-
циях типов III и IV с прокладками типов I (при $p \geq$
 $\geq 10 \text{ Мн/м}^2$) и 2 (независимо от величины p), а также
в обтюрации типа IX с прокладкой типа II, исходя из
необходимости отсутствия остаточных деформаций смятия
на уплотняемых поверхностях, должна удовлетворять
условиям:

в соединениях без самоуплотнения

$$\frac{\pi}{4} (D_{ns} + b')^2 p + \pi (D_{ns} + b') b' q \leq$$

$$\leq \pi (D_{ns} + b') b' \frac{\sigma_T^t}{1,1},$$

или после преобразования и решения данного неравенства
относительно b'

$$b' \geq \frac{0,275 D_{ns} p}{\sigma_T^t - 0,275 p - 1,1 q}; \quad (20.4)$$

в соединениях с самоуплотнением

$$\frac{\pi}{4} (D_{ns} + 2b')^2 p \leq$$

$$\leq \pi (D_{ns} + b') b' \frac{\sigma_T^t}{1,1},$$

или после преобразования и решения данного неравенства
относительно b'

$$b' \geq \frac{D_{ns}}{2} \left(\sqrt{1 - \frac{1,1 p}{\sigma_T^t - 1,1 p}} - 1 \right), \quad (20.5)$$

где D_{ns} — внутренний диаметр уплотнения в м (см);
 σ_T^t — предел текучести материала уплотняемых по-
верхностей при рабочей температуре (при раз-
ных материалах уплотняемых поверхностей
берется меньшее значение) в Мн/м^2 (кгс/см^2).

Таблица 20.7

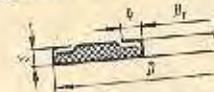
Прокладки из паронита для фланцевых соединений стальных сварных аппаратов (по данным Гипронсфемаша)



D	Уплотнительные поверхности		D _в	D	Уплотнительные поверхности	
	гладкие	шплицы			гладкие	шплицы
мм						
459	431	1500	1564	1528		
509	481	1600	1669	1629	1633	
559	531	1700	1769	1729	1733	
659	631	1800	1869	1829	1833	
759	731	1900	1969	1929	1933	
859	829	2000	2069	2025	2033	
959	929	2200	2278	2234	2238	
1059	1029	2400	2478	2434	2438	
1159	1129	2600	2678	2628	2638	
1264	1234	2800	2878	2828	2838	
1364	1334	3000	3078	3028	3038	
1464	1428	—	—	—	—	

Примечания:
1. Толщина з прокладок может быть 2 и 3 мм.
2. Данные прокладок применяются при P_у < 0,6 МПа/мм².

Прокладки металлические с мягкой набивкой для фланцевых соединений стальных сварных аппаратов (по данным Гипронсфемаша)



P _у МПа/мм ²	D _в	D	D ₁	P _у МПа/мм ²	D _н	D	D ₁
1,0—2,5	400	400	464	436	1,0	1200	1279
4,0—6,4			489	461			1289
1,0—2,5	450	450	519	491	1,6—2,5	1200	1334
4,0—6,4			539	511			1384
1,0—2,5	500	500	569	541	4,0	1300	1379
4,0—6,4			589	561			1391
1,0—2,5	600	600	669	641	1,6—2,5	1300	1439
4,0			694	666			1439
6,4	709	681	6,4	1484	1448		
1,0	700	700	769	741	1,0	1400	1497
1,6—2,5			779	751			1,6—2,5	1497
4,0	794	766	4,0	1549	1499		
6,4	824	796	6,4	1609	1559		
1,0	800	800	874	844	1,0	1500	1584
1,6—2,5			884	854			1,6—2,5	1604
4,0	904	868	4,0	1654	1604		
6,4	934	898	6,4	1719	1669		
1,0	900	900	974	944	1,0	1600	1689
1,6—2,5			981	951			1,6—2,5	1711
4,0	1009	973	4,0	1759	1709		
6,4	1059	1023	6,4	1834	1784		
1,0	1000	1000	1074	1044	1,0	1800	1914
1,6—2,5			1089	1059			1,6	1929
4,0	1119	1075	4,0	2000	2074		
6,4	1164	1120	6,4	2139	2089		
1,0	1100	1100	1174	1144	1,0	2200	2334
1,6—2,5			1189	1159			1,6	2349
4,0	1224	1180	4,0				
6,4	1274	1230	6,4				

Примечания:
1. Толщина з прокладок: при оболочке из стали s ≈ 3,4 мм, при оболочке из латуни и алюминиевого сплава s ≈ 3,6 мм.
2. Материал прокладок: оболочки толщиной 0,3 мм — из латуни марки Л62 и алюминия марки АД; оболочки толщиной 0,2 мм — из стали марок 0Х13-М, 0Х18Н10-М и 0Х18Н12Б-М; набивка — асбестовый картон.

Таблица 20.8

Прокладки из неметаллических материалов для фланцевых соединений медных аппаратов (по данным ВНИИХмаша)

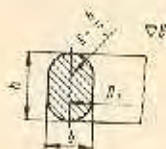


D _в	Для фланцев типов				D _в	Для фланцев типов			
	1		2 и 3			1		2 и 3	
	1	2 и 3	1	2 и 3		1	2 и 3	1	2 и 3
мм									
800	345	410	315	320	1100	1160	1285	1120	1130
400	445	510	418	420	1200	1260	1335	1220	1280
500	545	610	515	520	1300	1360	—	1320	—
600	645	710	615	620	1400	1460	—	1420	—
700	745	810	715	720	1500	1560	—	1520	—
800	845	910	815	820	1600	1660	—	1620	—
900	945	1010	915	920	1800	1860	—	1820	—
1000	1050	1115	1010	1025	2000	2060	—	2020	—

Примечания:
1. Типы фланцев см. в табл. 21.30.
2. Толщина прокладок: для D_в < 1100 мм s = 1, 2 и 3 мм, для D_в ≥ 1200 мм s = 2 и 3 мм.
3. Материал прокладок: паронит, резина, картон, картон асбестовый, фторопласт-4.

Таблица 20.10

Прокладки металлические овального сечения для фланцевых соединений арматуры, соединительных частей и трубопроводов (в соответствии с ГОСТами 12825—67, 12833—57)

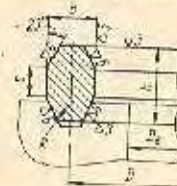


D_y	$P_y, \text{Мн/м}^2$							
	6,4		10		16		20	
	b	h	b	h	b	h	b	h
мм								
≤ 40	8	14	8	14	8	14	8	14
50—100					11	18	11	18
125					13	20	13	20
150					16	22		22
200	11	18	11	18	22	24		
250								
300								
350 и 400			16	22				

Примечания:
1. Материал прокладок — сталь марок 08КП, 0Х13 и 0Х18Н10Т.
2. Значения D_y , см, в табл. 20.3.

Таблица 20.11

Прокладки металлические восьмиугольного сечения для фланцевых соединений стальных сварных аппаратов (по данным Гипроисфемаша)

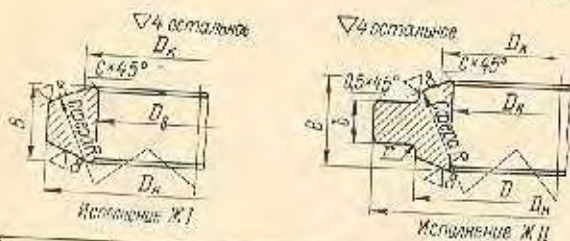


D_g	D	B	h	c	Масса кг
мм					
400	460				1,1
450	510	12	16	7	1,3
500	560				1,5
600	685				2,2
700	785	14	18		2,5
800	900			8	4,2
900	1025	18	23		5,4
1000	1120				7,8
1100	1225	22	26	10	8,5
1200	1340				13,0
1300	1440	24	30	12	13,9
1400	1550				18,8
1500	1670	28	34	14	22,2
1600	1790	30	36	15	23,3

Примечания:
1. Материал прокладок — сталь марок 08КП, 0Х13 и 0Х18Н10Т.
2. Значения R : для $D_g < 1100$ мм $R = 1,8$ мм, для $D_g \geq 1200$ мм $R = 2,4$ мм.

Линзы уплотнительные жесткие для арматуры, соединительных частей и трубопроводов на $p_y = 20 \div 100 \text{ Мн/м}^2$ (по ГОСТу 10493—63)

Таблица 20.12



Условное обозначение линзы исполнения ЖI с D_y 40 мм из стали марки 20: «Линза ЖI-40-20 ГОСТ 10493—63»

D_y	D_g	D_k	R	c	Исполнение ЖI			Исполнение ЖII				
					D_g	B	Масса кг	D_k	D	B	b	Масса кг
6	6	8,2	12		14	8,5	0,006					
10	10	13,7	20	0,25	22	10	0,017					

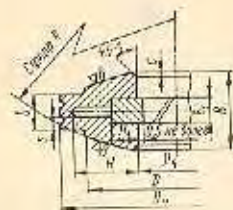
Продолжение табл. 20.12

D_y	D_e	D_k	R	e	Исполнение <i>KI</i>			Исполнение <i>KII</i>					
					D_k	B	Масса кг	D_H	D	B	b	Масса кг	
мм													
15	15	20,5	30	0,25	30	11	0,03	—	—	—	—	—	—
25	25	30,8	45		44	14	0,08	—	—	—	—	—	—
32	32	41,0	60		60	18	0,18	—	—	—	—	—	—
40	40	49,9	73		65		0,20	85	65	30	12	0,68	
60	60	67,0	98	0,5	82	20	0,30	116	85	32	14	1,30	
70	70	78,7	115		100	25	0,60	132	100	38	16	1,86	
90	90	95,7	140		125	30	1,05	155	125	42	17	2,51	
100	100	109	160		138		1,28	168	135	45	19	3,32	
125	120	137	200	1,0	175	35	2,30	200	165		60	26	8,43
150	150	166	243		210	40	3,30	245	195	25		11,4	
200	195	212	310		270	45	6,10	295	245				

Примечание.
Применение и материал линз в зависимости от условного давления p_y и рабочей температуры t_r см. в табл. 20.14.

Таблица 20.13

Линзы уплотнительные компенсирующие для арматуры, соединительных частей и трубопроводов
на $p_y = 40 \div 100 \text{ МПа/м}^2$
(по ГОСТу 10493—63)



Условное обозначение линзы исполнения *KI* с D_y 40 мм из стали марки 20: «Линза *KI*-40-20
ГОСТ 10493—63»

D_y	b_1	H_1	Исполнение <i>KI</i>							Исполнение <i>KII</i>						
			D_H	D	H	B	b	s	Масса, кг	D_k	D	H	B	b	s	Масса, кг
мм																
40	5	5,5	82	60	16	25	10	3,5	0,45	85	65	16	30	12	4,5	0,63
60		6,5	110	85	20	28			0,78	116	85	20	32	14	5,5	1,22
70	6	7,0	125	95	22	30	12	4,0	1,06	132	100	23	38	16	6,0	1,70
90		8,0	146	120		32			1,58	155	125	24	42	17	6,5	2,23
100	7	9,0	155	130	27,5	35	13	4,5	1,87	168	135	25	45	19	7,5	3,12
125		10	192	160		38			2,68	200	165	27,5				4,22
150	8	12	235	195	32,5	48	17	6,0	5,25	245	195	32,5	60	26	10,5	7,93
200		14	285	245					35	7,28	295	245				35	10	10,8

Примечания:
1. Применение и материал линз в зависимости от условного давления p_y и рабочей температуры t_r см. в табл. 20.14.
2. Значения D_H , D_k , R и s см. в табл. 20.12.

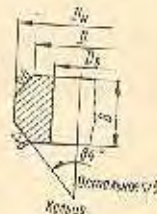
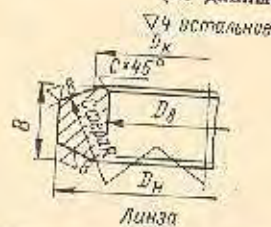
Применение уплотнительных линз для арматуры, соединительных частей и трубопроводов на $p_y = 20 - 100 \text{ Мн/м}^2$ (по ГОСТу 10493—63) Таблица 20.1

Тип и исполнение линзы	$P_y, \text{ Мн/м}^2$	$D_y, \text{ мм}$	$t_c, ^\circ\text{C}$	Марка стали линзы
Ж1	≤ 64	≤ 32	Не ограничено	20, ХЗМВ, 18ХГ
	> 64			ХЗМВ
	≤ 32			20, ХЗМВ
К1	40—50	≤ 40	≤ 400	ХЗМВ
Ж11			> 400	
	К11	≥ 64	≤ 40	Не ограничено	20, 18ХГ
≤ 400				ХЗМВ
			> 400	

Примечания:
 1. Для соединений из кислотоустойчивых сталей группы XII на $p_y \leq 32 \text{ Мн/м}^2$ при $t_c = 300^\circ\text{C}$ должна применяться линза исполнения Ж1 из кислотоустойчивой стали соответствующей марки.
 2. Оснoвные данные о линзах исполнений Ж1 и Ж11 см. в табл. 20.12, а исполнений К1 и К11 — в табл. 20.13.

Линзы и кольца уплотнительные для соединений на $p_y = 150 \text{ Мн/м}^2$ (по данным иркутского НИИХиммаша)

Таблица 20.15

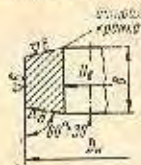


D_y	D_n	Линзы					Масса, кг	Кольца			
		D_n	D_k	R	B	c		D_k	D	B	Масса, кг
6	6	14	8,2	12	8,5	0,25	0,007	10	7,3	5,8	0,002
10	11	22	13,7	20	10			17	13,0	8,2	
15	17	30	20,5	30	11			25	19,6	10,5		0,017
25	26	48	30,8	45	16	0,5	0,115	38	30,0	15,0	0,056
32	32	64	39,7	58	20			48	37,2	20,0	
40	41	80	49,9	73	25			61	47,4	25,0		0,123
60	56	100	65,0	95	30		0,465	81	64,0	33,0	0,241
							0,846				0,564

Примечания:
 1. Материалы линз и колец — сталь марок 40X и ХЗМВФ.
 2. Линзы и кольца применимы при рабочей температуре от минус 40°C до плюс 300°C .

Таблица 20.16

Линзы уплотнительные для соединений на $p_p = 250 \text{ Мн/м}^2$ (по данным иркутского НИИхиммаша)

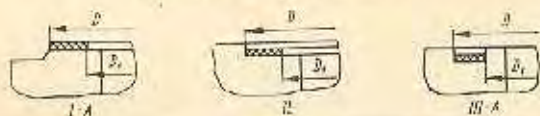


D_1	D_2	D_3	B	Масса кг
мм				
3	2,6—0,05	12	6,5	0,005
6	5,6—0,05	17	8	0,01
10	9,2—0,1	28	10	0,039
15	13,9—0,1	41	14	0,115
25	21,7—0,15	63	22	0,44
32	28,5—0,2	79	25	0,76
40	36,5—0,2	98	30	1,47

Примечания:
1. Материал линзы — сталь марки 35ХМ.
2. Линзы применимы при рабочей температуре от минус 40° С до плюс 300° С.

Таблица 20.17

Размеры прокладок прямоугольного сечения из неметаллических материалов в стандартных фланцевых соединениях арматуры и трубопроводов



Тип обтюрации *	D	D_1
I-A	Равен диаметру соединительного выступа по соответствующему ГОСТу	$D = 3b$, где b — ширина паза в обтюрации III-A по соответствующему ГОСТу
II	Равен наружному диаметру впадины по соответствующему ГОСТу	
III-A	Равен наружному диаметру паза по соответствующему ГОСТу	Равен внутреннему диаметру паза по соответствующему ГОСТу

* По табл. 20.1.

Таблица 20.18

Толщина прокладок прямоугольного сечения, зубчатых и гофрированных

Тип прокладки *	1					3 **	5 ***
	Материал прокладки						
Резина, прорезиненная ткань, асбестовый картон, пластик, синтет. полиэфир, фибра, кожа, стеклопласт	Перолит	Картон	Металлы	Асбестовый картон в неметаллической оболочке	Толщина прокладки s , мм		
					≤ 50	> 50 до 400	> 400 до 1000	$> 1000$	2	3	3
		2	2	1,5	2	3	3
		3	2	2	3—4	4	3
		4	2—3	2	4—5	—	—
		3	—	—	—	—	—

* По табл. 20.2.
** См. рис. 20.2.
*** См. рис. 20.3.

Таблица 20.19

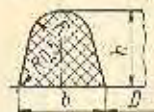
Размеры прокладок круглого сечения (тип 2, см. табл. 20.2)

D_y , мм	Материал прокладки	
	металл	резина
	Диаметр сечения прокладки d , мм	
≤ 6	2	—
> 6 до 50	3	—
> 50 до 200	4—5	5—6
> 200 до 500	—	6—8
> 500 до 1000	—	8—10

Средний диаметр прокладки равен среднему диаметру уплотняемых поверхностей

Таблица 20.20

Конструктивные элементы профильных прокладок (тип 7, см. табл. 20.2)

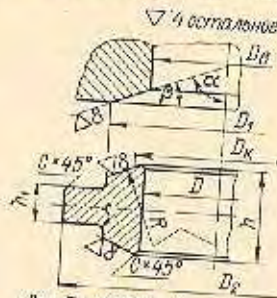


D_y	b	h	R
мм			
≤ 200	7,2	6,5	2,7
> 200 до 500	11	10	4
> 500	16,5	15	6,5

Примечание. Диаметр D см. в табл. 20.25.

Конструктивные элементы для линз $D_D > 200$ мм

Таблица 20.2

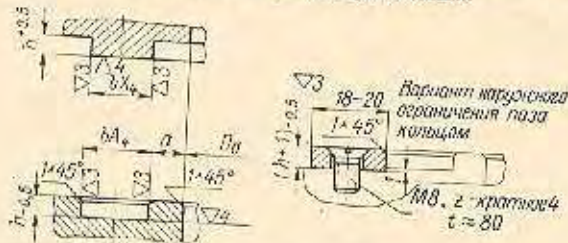


Для $D_D = 400$ $\beta = 20^\circ$ $\alpha = 70^\circ$
 Для $D_D = 400$ $\beta = 30^\circ$ $\alpha = 60^\circ$

D_0	D	D_K	D_1	D_2	R	h	h_1	r	c
мм									
>200 до 400	$D_0 + 8$	$D + 14$	$D_0 + 50$	$\geq D_1 + 2(r + c + 1)$	$\frac{D_K}{2 \sin \beta}$	$\geq 2 \left(\sqrt{R^2 - \frac{D^2}{4}} - \sqrt{R^2 - \frac{D_1^2}{4}} \right) + h_1 + 2r + 2$	30	5	1,5
>400		$D + 20$	$D_0 + 55$				40	6	2,0

Конструктивные элементы уплотнительных поверхностей для обтюрации типа III с металлическими прокладками

Таблица 20.22

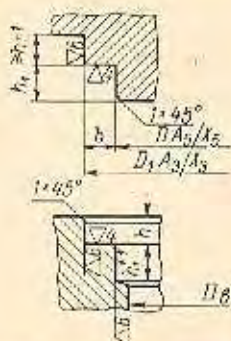


D_0	a	Для прокладок			
		прямоугольного сечения		круглого сечения	
		b^*	h	r, b	h
< 50	3-4	—	—	—	—
50 до 100	5	≤ 3	5	d	$d+2$
> 100 \times 200	6	$\leq 4,5$	6		
> 200 \times 400	7	—	—	—	—
> 400 \times 600	8	≤ 6	8	—	—
> 600		≤ 8	—	—	—

* Определяется по формулам: (20.4) — для обтюрации без самоуплотнения, (20.5) — для обтюрации с самоуплотнением.

Таблица 20.23

Конструктивные элементы уплотнительных поверхностей для обтюрации типа IV с металлическими прокладками

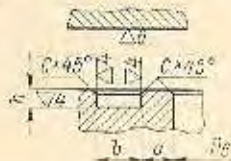


D ₀	D	Для прокладок					
		прямо-угельного сечения			круглого сечения		
		b*	h	h ₁	b	h	h ₁
мм							
< 50	D ₀ +2	—	—	—	d	d+2	d+4
От 50 до 100	D ₀ +4	≥ 3	5	7			
≥ 100 » 200	D ₀ +6	≥ 4,5	6	8			
≥ 200 » 400	D ₀ +8	≥ 6					
≥ 400 » 600	D ₀ +10	≥ 8	8	10	—	—	—
≥ 600							

* Определяется по формулам: (20.4) — для обтюрации без самоуплотнения, (20.5) — для обтюрации с самоуплотнением.

Таблица 20.24

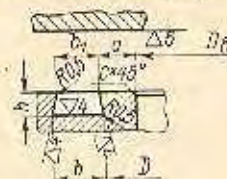
Конструктивные элементы уплотнительных поверхностей для обтюрации типа V [17]



D ₀	a	b	h	c	Сечение прокладки					
						мм				
						≤ 15	2	3	2		3×3
≥ 15 до 50	3	4	2,5	0,5	4×4					
≥ 50 » 200	4,5	5	3,5	1,0	5×5					
≥ 200 » 400	6		5		5×8					
≥ 400 » 600	8	6	6		6×10					
≥ 600 » 800	9	8	8		8×12					
≥ 800	10	10	10		10×14					

Таблица 20.25

Конструктивные элементы уплотнительных поверхностей для обтюрации типа VI

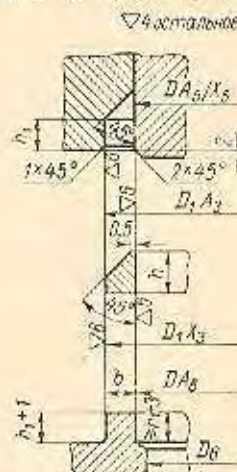


D ₀	a	b	b ₁	h	c
мм					
≤ 200	5-6	7,2	6	3	0,5
≥ 200 до 500	7	11	9	5	1,0
≥ 500	8	16,5	13,5	7,5	

Примечания:
1. Профиль прокладки (см. табл. 20.20).
2. D = D₀ + 2a + b₁ - b.

Таблица 20.26

Конструктивные элементы обтюрации типа IX



D ₀	D	b*	h	h ₁
мм				
От 50 до 100	D ₀ +4	≥ 3	5	4
≥ 100 » 200	D ₀ +6	≥ 4,5	7,5	6
≥ 200 » 400	D ₀ +8	≥ 6	10	8
≥ 400	D ₀ +10	≥ 8	12	10

* Определяется по формулам: (20.4) — для обтюрации без самоуплотнения, (20.5) — для обтюрации с самоуплотнением.

Эффективная ширина b_e уплотнения для различных типов прокладок

Таблица 20.27

Эффективная ширина уплотнения	Типы прокладок (см. табл. 20.2)							
	1, 2, 4, 5 и 6		3 (см. рис. 20.2)		7 (см. табл. 20.20)			8 и 10
	Ширина прокладок				D_y			При ширине прокладок b
	$b < 15 \text{ мм}$	$b > 15 \text{ мм}$	$b < 10 \text{ мм}$	$b > 10 \text{ мм}$	< 200	> 200 до 500	> 500	
$b_e, \text{мм}$	b^*	$1,2 \sqrt{b}^*$	$b_{0,2}$	$\frac{3,16 b_{0,2}}{\sqrt{b}}^{**}$	3,5	5,5	8	$\frac{b}{4}^*$

* По ОН 26 01-17 / 02-14 66.
** По [70].

Значения удельных нагрузок q и коэффициента k в формуле (20.2) для различных прокладок

Таблица 20.28

(по ОН 26 01-17 / 02-14 66)

Конструкция и материал прокладки	Плоские неметаллические и металлические									
	Резина с твердостью по Шору св. 75	Асбестовый картон, картон, парокит, пластикат, кожа, фторопласт	Прорезиненная ткань	Фибра, полиэфир, сваяец**	Алюминий	Медь, латунь	Монель	Сталь марок		
								05КП	0Х13, Х18Н10Т	
q	Мн/м^2	1,5	20	10	30	60	90	150	125	180
	кгс/см^2	15	200	100	300	600	900	1500	1250	1800
k		1,0	2,5	2,0 ^o	3,5 [*]	4,0	4,75	6,0	5,5	6,5

Конструкция и материал прокладки	Плоские и гофрированные из асбеста, картона с оболочкой из					Металлические овального и восьмиугольного сечений			
	алюминий	медь или латунь	монель	сталь марок		монель	сталь марок		
				05КП	0Х13 или Х18Н10Т		05КП	0Х13, Х18Н10Т	
q	Мн/м^2	38	46	56	53	63	150	125	180
	кгс/см^2	380	460	560	530	630	1500	1250	1800
k		3,25	3,5	3,5	3,75	3,75	6,0	5,5	6,5

* По рекомендациям авторов.
** По [90].

Определенные по формулам (20.4) и (20.5) значения b' рекомендуется принимать не менее нижних пределов, указанных в табл. 20.22, 20.23 и 20.26.

Самоуплотнение в самоуплотняющихся соединениях с любыми прокладками обеспечивается при условии

$$\frac{\pi}{4} (D_{на} + 2b_s)^2 p \geq \pi (D_{на} + b_s) b_s q$$

или после преобразования и решения данного неравенства относительно b_s

$$b_s \leq \frac{D_{на}}{2} \left(\sqrt{1 - \frac{p}{q - p}} - 1 \right). \quad (20.6)$$

Конструируемая прокладка типа 8 должна быть проверена на прочность (на растяжение) по формулам: в рабочих условиях

$$\frac{Dph}{F} \leq \frac{\sigma_{\tau}}{1,1}; \quad (20.7)$$

при гидротестировании аппарата

$$\frac{Dp_{гк}h}{F} \leq \frac{\sigma_{\tau}}{1,1}; \quad (20.8)$$

где D и h — по табл. 20.21 в м (см);
 F — площадь диаметрального поперечного сечения лиэы в м^2 (см^2).

При вакууме в аппарате для обеспечения самоуплотнения ширина прокладки должна быть не более b_0 , определенной по формуле (20.6). При этом в (20.6) вместо p подставляется разность между атмосферным и остаточным давлением в аппарате.

Пример 20.1. Определить размеры конструктивных элементов и расчетную силу осевого сжатия обтюратора типа I-B (рис. 20.5) без самоуплотнения для фланцевого присоединения прямоугольной крышки по следующим данным: $L_0 \times B_0 = 0,6 \times 0,4 \text{ м}^2$; $b = 0,02 \text{ м}$; $p = 0,1 \text{ Мн/м}^2$ (1 кгс/см^2); $t_c = 20^\circ \text{ С}$; материал уплотняемых поверхностей — сталь марки Ст.3; прокладка типа I резиновая.

Средняя длина уплотняемой поверхности

$$L_{nc} = 2(L_0 + b) + 2(B_0 + b) = 2(0,6 + 0,02) + 2(0,4 + 0,02) = 2,08 \text{ м.}$$

Эффективную ширину уплотнения определяем из табл. 20.27 для $b > 15 \text{ мм}$

$$b_0 = 1,2 \sqrt{b} = 1,2 \sqrt{0,02} = 0,317 \text{ м.}$$

Определяем из табл. 20.28 коэффициент $k = 1$.

Расчетную силу осевого сжатия прокладки при рабочих условиях определяем по формуле (20.1)

$$P'_n = L_{nc} b_0 k p = 2,08 \cdot 0,317 \cdot 1 \cdot 0,1 = 0,065836 \text{ Мн (354 кгс)}.$$

Пример 20.2. Определить размеры конструктивных элементов и расчетную силу осевого сжатия обтюратора типа III-A для фланцевого соединения по следующим данным: $D_0 = 1 \text{ м}$; $p = 3 \text{ Мн/м}^2$ (30 кгс/см^2); $t_c = -190^\circ \text{ С}$; прокладка типа I паронитовая; материал уплотняемых поверхностей — сталь марки X18H10T.

Выбираем размеры уплотнительных поверхностей по табл. 20.5 для $p_y = 4 \text{ Мн/м}^2$ (ближайшего большего) — $D_2 = 1,117 \text{ м}$; $b = 0,02 \text{ м}$.

Средний диаметр уплотнения

$$D_n = D_2 - b = 1,117 - 0,02 = 1,097 \text{ м.}$$

Эффективную ширину уплотнения определяем по табл. 20.27 для $b > 15 \text{ мм}$

$$b_0 = 1,2 \sqrt{b} = 1,2 \sqrt{0,02} = 0,317 \text{ м.}$$

Определяем из табл. 20.28 коэффициент $k = 2,5$.

Расчетную силу осевого сжатия прокладки при рабочих условиях определяем по формуле (20.1)

$$P'_n = \pi D_n b_0 k p = \pi \cdot 1,097 \cdot 0,317 \cdot 2,5 \cdot 3 = 0,439 \text{ Мн (43 900 кгс)}.$$

Пример 20.3. Определить размеры конструктивных элементов и расчетную силу осевого сжатия обтюратора типа IV-A без самоуплотнения для присоединения крышки аппарата по следующим данным: $D_0 = 0,4 \text{ м}$; $p = 25 \text{ Мн/м}^2$ (250 кгс/см^2); $t_c = 300^\circ \text{ С}$; прокладка типа I медная; материал уплотняемых поверхностей — сталь ($\sigma_T^{300} = 350 \text{ Мн/м}^2$).

Из табл. 20.18 выбираем $s = 4 \text{ мм}$.

Из табл. 20.23 определяем: $D_{10} = D_0 + 8 = 400 + 8 = 408 \text{ мм}$; $h = 6 \text{ мм}$; $h_1 = 8 \text{ мм}$.

Удельную нагрузку q на прокладку и коэффициент k определяем из табл. 20.28 — $q = 90 \text{ Мн/м}^2$; $k = 4,75$.

Расчетную ширину уплотнения определяем по формуле (20.4)

$$b' \geq \frac{0,275 D_{10} p}{\sigma_T - 0,275 p - 1,1 q} = \frac{0,275 \cdot 0,408 \cdot 25}{320 - 0,275 \cdot 25 - 1,1 \cdot 9} = 0,01085 \text{ м.}$$

Принимаем $b = 11 \text{ мм}$.

Расчетную силу осевого сжатия прокладки при рабочих условиях определяем по формуле (20.2)

$$P'_n = \pi D_n b q = \pi (0,408 + 0,011) 0,011 \cdot 90 = 1,3 \text{ Мн (130 000 кгс)}.$$

Пример 20.4. Определить размеры конструктивных элементов и расчетную силу осевого сжатия обтюратора типа VII фланцевого соединения по следующим данным: $D_0 = 0,3 \text{ м}$; $p = 25 \text{ Мн/м}^2$ (250 кгс/см^2); $t_c = 20^\circ \text{ С}$; материал линзы — сталь ($\sigma_T = 320 \text{ Мн/м}^2$); $\rho_n = 31,3 \text{ Мн/м}^2$.

Из табл. 20.21 имеем: $D = D_0 + 3 = 300 + 3 = 303 \text{ мм}$; $D_K = D + 14 = 303 + 14 = 317 \text{ мм}$; $D_1 = D_0 + 50 = 300 + 50 = 350 \text{ мм}$; $\alpha = 70^\circ$; $\beta = 20^\circ$;

$$R = \frac{D_K}{2 \sin \beta} = \frac{317}{2 \sin 20^\circ} \approx 460 \text{ мм}; h_1 = 30 \text{ мм}; r = 5 \text{ мм}; c = 1,5 \text{ мм}; D_2 = D_1 + 2(r + c + 1) = 350 + 2(5 + 1,5 + 1) = 365 \text{ мм}; h = 2 \left(\sqrt{R^2 - \frac{D^2}{4}} - \sqrt{R^2 - \frac{D_1^2}{4}} \right) + h_1 + 2r + 2 = 2 \left(\sqrt{460^2 - \frac{303^2}{4}} - \sqrt{460^2 - \frac{350^2}{4}} \right) + 30 + 2 \cdot 5 + 2 = 60 \text{ мм}; F \approx 28,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Из графика рис. 20.4 имеем $q_n = 0,53 \text{ Мн/м}$.

Расчетную силу осевого сжатия линзы при $\rho_T = 8^\circ$ определяем по формуле (20.3)

$$P'_n = \pi D_n q_n \frac{\sin(\alpha + \rho_T)}{\cos \rho_T} = \pi \cdot 0,317 \cdot 0,53 \frac{\sin(70^\circ + 8^\circ)}{\cos 8^\circ} = 0,523 \text{ Мн (52 300 кгс)}.$$

Проверим условие прочности линзы при гидротестировании по формуле (20.8)

$$\frac{D \rho_n h}{F} \leq \frac{\sigma_T}{1,1}.$$

Левая часть условия

$$\frac{0,303 \cdot 31,3}{28,5 \cdot 10^{-4}} = 200 \text{ Мн/м}^2.$$

Правая часть условия

$$\frac{320}{1,1} = 291 \text{ Мн/м}^2.$$

Поскольку $200 < 291$ — условие прочности соблюдено.

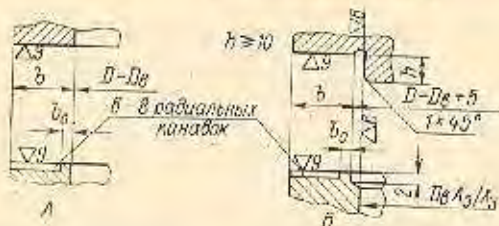
20.2. БЕСПРОКЛАДОЧНАЯ ОБТЮРАЦИЯ

Беспрокладочная обтюрация применяется в соединениях высокого давления и в тех случаях, когда по температурным, коррозионным или каким-либо другим соображениям невозможно применить прокладки.

Рекомендуемые конструктивные элементы для основных типов беспрокладочных обтюраторов приведены в табл. 20.29—20.32.

Таблица 20.29

Конструктивные элементы уплотнительных поверхностей обтюрации типа X

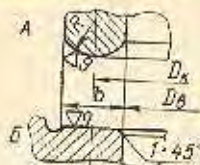


D_0 , мм	От 50 до 100	> 100 до 200	> 200 до 500	> 500
b_0 , мм	2	3	4—5	6—8

Примечание. Расчетная ширина уплотнения b' определяется по формуле (20.4).

Таблица 20.30

Конструктивные элементы уплотнительных поверхностей обтюрации типа XI



D_0 , мм		≤ 10	> 10 до 20	> 20 до 50
D_k	мм	$D_0 + 4$	$D_0 + 6$	$D_0 + 8$
R		4	5	6
b		4	6	8

Примечания:
 1. Для соединения труб уплотнительные поверхности их выполняются по А.
 2. Для присоединения трубы к аппарату: поверхность со стороны трубы — по А; поверхность со стороны аппарата — по Б.

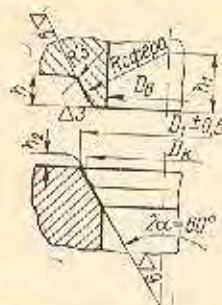
Обтюрация типа X (несамоуплотняющаяся) с плоскими шлифованными уплотнительными поверхностями может применяться во фланцевых соединениях при $D_0 \geq 50$ мм и $p_c \leq 150$ Мн/м².

Обтюрация типа XI (несамоуплотняющаяся) применяется в резьбовых соединениях при $D_0 < 50$ мм и $p_c > 10$ до 100 Мн/м².

Обтюрация типа XII (с самоуплотнением и без самоуплотнения) применяется во фланцевых и резьбовых соединениях при $D_0 \leq 500$ мм и $p_c \leq 20$ Мн/м². Конусность уплотняемых поверхностей рекомендуется принимать 1 : 0,866 ($2\alpha = 60^\circ$).

Таблица 20.31

Конструктивные элементы уплотнительных поверхностей обтюрации типа XII



D_k	мм	$D_0 + 1,5 (0,05D_0 + 5)$
R		$0,578D_k$
D_1		$D_0 + 2 (0,05D_0 + 5)$
h		$0,05D_0 + 8$
h_1		$0,5R + 0,4 (0,05D_0 + 5)$
h_2		$0,167 (0,05D_0 + 5) + 3$

Обтюрация типа XIII (с самоуплотнением и без самоуплотнения) принимается в пределах $2\alpha = 30 \div 60^\circ$, причем гнездо для обеспечения лучшей герметичности в соединениях без самоуплотнения должно иметь конусность на 2° больше, чем конусность наконечника, а в соединениях с самоуплотнением — наоборот (меньше на 2°).

В беспрокладочных обтюрациях типов XI—XIII предпочтительно материал соединяемых деталей по твердости выбирать разным, причем для наконечников — с меньшей твердостью, чем для деталей с гнездом. В обтюрациях типов X и XI (в соединениях труб), обе уплотняемые поверхности которой выполняются по А (см. табл. 20.30), материалы соединяемых деталей выбираются одинаковыми.

Осуществление осевого сжатия уплотняемых поверхностей во избежание задира их должно производиться без относительного вращения уплотняемых поверхностей.

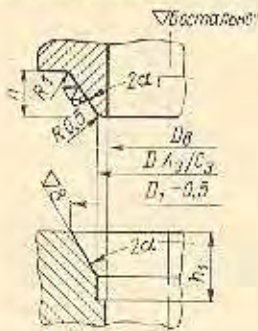
Расчет беспрокладочных обтюраций производится следующим образом. Расчетную силу P'_n осевого сжатия уплотняемых поверхностей в рабочих условиях в обтюрации типа X (см. табл. 20.29) рекомендуется определять по формуле (20.2), в которой $q = 4p$ [90] (для $p_c \geq 10$ Мн/м²), а b_0 берется по табл. 20.27 как для прокладки типа I.

Расчетная ширина b' уплотнения в этой обтюрации в мм (см), исходя из необходимости отсутствия остаточных деформаций на уплотняемых поверхностях, должна удовлетворять условию

$$\frac{\pi}{4} (D_{0a} + b_0)^2 p + \pi (D_{0a} + b') b' 4p \leq \leq \pi (D_{0a} + b') b' \frac{\sigma'_T}{1,1}$$

Таблица 20.32

Конструктивные элементы уплотнительных поверхностей обтюрации типа XIII



Величина		Для присоединения глухих пробок, крышек и т. п.	Для присоединения труб шпунелей и т. п.
α		15—30	
α_1	град	Для соединений без самоуплотнения $\alpha - 1$ Для соединений с самоуплотнением $\alpha + 1$	
D		D_0	$D_0 + (0,05D_0 + 5)$
D_1	мм	Для соединений без самоуплотнения — по формуле (20.10) Для соединений с самоуплотнением — по формуле (20.11), но не менее $D + 5$	
h		$\geq \frac{D_1 - D}{2 \operatorname{tg} \alpha} + 5$	
h_1		$\geq \frac{(D_1 - D) + (0,05D_0 + 5)}{2 \operatorname{tg} \alpha}$	

или после преобразования и решения данного неравенства относительно b'

$$b' \geq 0,5 \left[\sqrt{D_{0a}^2 + \frac{(D_{0a} + b_0)^2 \rho}{\sigma_r^t - 4\rho}} - D_{0a} \right], \quad (20.9)$$

где σ_r^t — предел текучести уплотняемых поверхностей при рабочей температуре в Мн/м^2 (кгс/см^2).

Расчетную силу P'_n осевого сжатия уплотняемых поверхностей в обтюрациях типов XI и XII (см. соответственно табл. 20.30 и 20.31) рекомендуется определять по формуле (20.3)*, в которой q_a берется по графику рис. 20.4.

* Для обтюрации типа XI $P'_n \geq \pi D_K q_a$

Самоуплотнение в обтюрации типа XIII обеспечивается при условии

$$\pi D_K \frac{\sin(\alpha + \rho_r)}{\cos \rho_r} q_a \leq \frac{\pi}{4} D_K^3 \rho$$

или после преобразования

$$q_a \leq 0,25 D_K \frac{\cos \rho_r}{\sin(\alpha + \rho_r)} \rho, \quad (20.10)$$

где значения величины те же, что и в формуле (20.3).

В обтюрации типа XIII (см. табл. 20.32) диаметр D_K уплотнения (касания) принимается: в соединениях без самоуплотнения $D_K = D$; в соединениях с самоуплотнением $D_K = D_1$.

Расчетную силу осевого сжатия в данной обтюрации P'_n в Мн (кгс) для обеспечения герметичности в рабочих условиях, считая, что уплотнение осуществляется по всей поверхности конуса в гнезде, рекомендуется определять по формуле

$$P'_n \geq \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D^2) \frac{\sin(\alpha + \rho_r)}{\cos \rho_r} q, \quad (20.11)$$

где q — удельная нагрузка на уплотняемые поверхности берется равной 4ρ в Мн/м^2 (кгс/см^2);

ρ_r — угол трения наконечника по конической поверхности гнезда принимается равным 8—10°.

Расчетный диаметр D'_1 конуса гнезда в мм (см) при этом должен удовлетворять условиям:

в соединениях без самоуплотнения

$$\begin{aligned} & \frac{\pi}{4} D^2 \rho + \frac{\pi}{2} (D'_1 + D) \times \\ & \times \frac{(D'_1 - D)}{2} \frac{\sin(\alpha + \rho_r)}{\cos \rho_r} q \leq \\ & \leq \frac{\pi}{4} [(D'_1)^2 - D^2] \frac{\sigma_r^t}{1,1} \end{aligned}$$

или после преобразования и решения данного неравенства относительно D'_1

$$D'_1 \geq D \sqrt{\frac{\rho}{\frac{\sigma_r^t}{1,1} - \frac{\sin(\alpha + \rho_r)}{\cos \rho_r} q} + 1}; \quad (20.12)$$

в соединениях с самоуплотнением

$$\begin{aligned} & \frac{\pi}{4} (D'_1)^2 \rho + \frac{\pi}{4} (D'_1 + D) \times \\ & \times \frac{(D'_1 - D)}{2} \frac{\sin(\alpha + \rho_r)}{\cos \rho_r} q \leq \\ & \leq \frac{\pi}{4} [(D'_1)^2 - D^2] \frac{\sigma_r^t}{1,1} \end{aligned}$$

или после преобразования и решения данного неравенства относительно D'_1

$$D'_1 \geq D \sqrt{\frac{\frac{\sigma_r^t}{1,1} - \frac{\sin(\alpha + \rho_r)}{\cos \rho_r} q}{\frac{\sigma_r^t}{1,1} - \rho - \frac{\sin(\alpha + \rho_r)}{\cos \rho_r} q}}. \quad (20.13)$$

Самоуплотнение в обтюрации типа XIII обеспечивается при условии

$$\frac{\pi}{4} (D_1^2 - D^2) \frac{\sin(\alpha + \rho_T)}{\cos \rho_T} q \leq \frac{\pi}{4} D_1^2 \rho,$$

или после преобразования

$$q \leq \frac{D_1^2 \rho \sin(\alpha + \rho_T)}{(D_1^2 - D^2) \cos \rho_T}. \quad (20.14)$$

Пример 20.5. Определить размеры конструктивных элементов и расчетную силу осевого сжатия обтюрации типа X-B фланцевого присоединения крышки аппарата по следующим данным: $D_o = 0,3$ м; $p = 70$ МПа/м² (700 кгс/см²); $t_c = 100^\circ$ С; материал уплотняемых поверхностей — сталь ($\sigma_T = 850$ МПа/м²).

Из табл. 20.29 имеем: $D_{no} = D - D_o + 5 = 300 + 5 = 305$ мм; $b_o = 5$ мм; $h = 10$ мм.

Расчетную ширину уплотнения определяем по формуле (20.9)

$$b' = 0,5 \left[\sqrt{\frac{D_{no}^2 + (D_{no} + b_o)^2 \rho}{\frac{\sigma_T}{1,1} - 4\rho}} - D_{no} \right] =$$

$$= 0,5 \left[\sqrt{\frac{0,305^2 + \frac{(0,305 + 0,005)^2 \cdot 70}{650}}{1,1 - 4 \cdot 70}} - 0,305 \right] =$$

$$= 0,017 \text{ м.}$$

Принимаем: $b = 17,5$ мм;

$$D_{no} = D_{no} + 2b = 305 + 2 \cdot 17,5 = 340 \text{ мм.}$$

Средний диаметр уплотнения

$$D_n = D_{no} + b = 0,305 + 0,0175 = 0,3225 \text{ м.}$$

Эффективная ширина уплотнения из табл. 20.27

$$b_s = 1,2 \sqrt{b} = 1,2 \sqrt{0,0175} = 0,01585 \text{ м.}$$

Расчетную силу осевого сжатия уплотняемых поверхностей при $q = 4\rho$ определяем по формуле (20.2)

$$P'_n = \pi D_n b_s \rho = \pi \cdot 0,3225 \cdot 0,01585 \cdot 4 \cdot 70 =$$

$$= 4,5 \text{ Мн (450 000 кгс).}$$

Пример 20.6. Определить размеры конструктивных элементов и расчетную силу осевого сжатия обтюрации типа XII фланцевого соединения труб по следующим данным: $D_o = 0,2$ м; $p = 20$ МПа/м² (200 кгс/см²); материал уплотняемых поверхностей — сталь X18H101; $\alpha = 30^\circ$.

Из табл. 20.31 имеем: $D_k = D_o + 1,5(0,05D_o + 5) = 200 + 1,5(0,05 \cdot 200 + 5) \approx 223$ мм; $R = 0,578D_k = 0,578 \cdot 223 = 130$ мм; $D_1 = D_o + 2(0,05D_o + 5) = 200 + 2(0,05 \cdot 200 + 5) = 230$ мм; $h = 0,05D_o + 8 = 0,05 \cdot 200 + 8 = 18$ мм; $h_1 = 0,5R + 0,4(0,05D_o + 5) = 0,5 \cdot 130 + 0,4(0,05 \cdot 200 + 5) = 71$ мм; $h_2 = 0,167(0,05D_o + 5) + 3 = 0,167(0,05 \cdot 200 + 5) + 3 = 5,5$ мм.

Расчетную силу осевого сжатия при $q_s = 0,5$ МПа/м (по рис. 20.4) определяем по формуле (20.3)

$$P'_n = \pi D_k q_s \frac{\sin(\alpha + \rho_T)}{\cos \rho_T} =$$

$$= \pi \cdot 0,223 \cdot 0,5 \frac{\sin(30 + 8)^\circ}{\cos 8^\circ} =$$

$$= 0,218 \text{ Мн (21 800 кгс)}$$

Пример 20.7. Определить размеры конструктивных элементов и расчетную силу осевого сжатия обтюрации типа XIII без самоуплотнения для выпильного резьбового присоединения трубы по следующим данным: $D_o = 0,02$ м; $p = 100$ МПа/м² (1000 кгс/см²); материал выпеля (более мягкий) — сталь ($\sigma_T = 600$ МПа/м²); $\rho_T = 8^\circ$; $q = 4\rho = 400$ МПа/м².

Из табл. 20.32 имеем: $\alpha = 15^\circ$; $\alpha_1 = 14^\circ$; $D = D_o + (0,05D_o + 5) = 20 + (0,05 \cdot 20 + 5) = 26$ мм; $D_k = D = 26$ мм.

Расчетный диаметр конуса гнезда определяем по формуле (20.12)

$$D_1' = D \sqrt{\frac{\rho}{\frac{\sigma_T}{1,1} - \frac{\sin(\alpha + \rho_T)}{\cos \rho_T} q} + 1} =$$

$$= 0,026 \sqrt{\frac{100}{\frac{600}{1,1} - \frac{\sin(15 + 8)^\circ}{\cos 8^\circ} 400} + 1} =$$

$$= 0,0291 \text{ м.}$$

Принимаем $D_1 = 30$ мм.

Из табл. 20.32 находим:

$$k' \geq \frac{D_1 - D}{2 \operatorname{tg} \alpha} + 5 = \frac{30 - 26}{2 \operatorname{tg} 15^\circ} + 5 = 12,5 \text{ мм.}$$

Принимаем $k = 13$ мм.

$$k_1' \geq \frac{(D_1 - D) + (0,05D_o + 5)}{2 \operatorname{tg} \alpha} =$$

$$= \frac{(30 - 26) + (0,05 \cdot 20 + 5)}{2 \operatorname{tg} 15^\circ} = 18,65 \text{ мм.}$$

Принимаем $h_1 = 20$ мм.

Расчетную силу осевого сжатия уплотняемых поверхностей определяем по формуле (20.11)

$$P'_n = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D^2) \frac{\sin(\alpha + \rho_T)}{\cos \rho_T} q =$$

$$= \frac{\pi}{4} (0,03^2 - 0,026^2) \frac{\sin(15 + 8)^\circ}{\cos 8^\circ} 400 =$$

$$= 0,0277 \text{ Мн (2770 кгс).}$$

20.3. СПЕЦИАЛЬНАЯ ОБТЮРАЦИЯ

Специальная обтюрация применяется главным образом в соединениях высокого давления.

В табл. 20.33 и 20.34 приведены рекомендуемые конструктивные элементы наиболее характерных специальных самоуплотняющихся обтюраций с обтюратором между уплотняемыми поверхностями, которые употребляются преимущественно в соединениях крышек аппаратов.

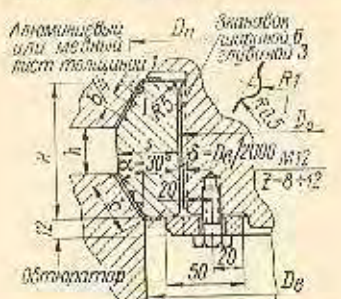
Обтюрация типа XIV применяется при $D_o = 400 \div 1600$ мм и $p_c = 20 \div 100$ МПа/м².

Материалы уплотняемых поверхностей (корпуса и крышки) и обтюлятора могут быть одинаковыми с $\sigma_T \geq 6\rho_c$.

Обтюрация типа XV применяется при $D_o > 50$ мм и $p_c \geq 30$ МПа/м². Материал обтюлятора (с $\sigma_T \geq 2\rho$) выбирается более мягким по сравнению с материалами уплотняемых поверхностей (корпуса и крышки). Обтюратор может быть использован в нескольких сборках, но

Таблица 20.33

Конструктивные элементы обтюрации типа XIV [163]



Обработка уплотнительной поверхности ∇8, остальное ∇4

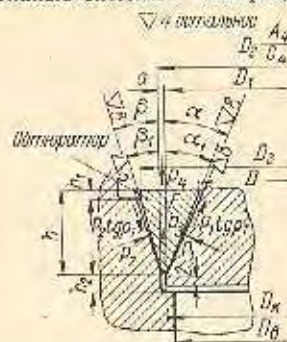
$P_{\text{д}}$ Мн/м ²	$D_{\text{в}}$	$D_{\text{н}}$	s	H	h
	мм				
32	400	373	25	60	20
50		369	27		
70		367	28		
32	600	566	32	80	26
50		564	33		
70		560	35		
100	800	535	50	100	40
32		758	39		
50		736	40		
70	1000	764	41	120	46
20		958	43		
32		954	45		
50	1200	950	47	135	52
70		944	50		
20		1141	53		
32	1400	1137	55	146	60
50		1133	57		
70		1330	60		
32	1600	1525	65	160	62

Материал обтюраторов

$P_{\text{д}}$, Мн/м ²	$t_{\text{н}}$, °С	Марка стали
20—50	От —50 до 200	3Г2, 20Х2МА, 22Х3М
20—100	≥200 до 300	20Х2МА, 22Х3М, 25Х3ПМ
	≥300 до 400	20Х3МВФ

Таблица 20.34

Конструктивные элементы обтюрации типа XV



α	18—24	D_2	$D_{\text{к}} + (2+3)$
α_1	$\alpha - 1$	D_3	По формуле (20.21)
β	12—15	a	1—2
β_1	$\beta - 1$	h	$\frac{D_3 - D_{\text{в}}}{2 \operatorname{tg} \beta} + h_1$
D	По формуле (20.20)	h_1	3—5
$D_{\text{к}}$	$D_{\text{в}} + (2+5)$	h_2	5—8
D_1	$D_2 - 2a$	F	$M^3 \sim \frac{(D_1 + D_2)^2}{2 \operatorname{tg} \alpha}$ *

* D_1 и D_2 в мм.

с предварительной шлифовкой уплотняемых поверхностей перед каждой сборкой. Последовательность сборки следующая: незначительное поджатие обтюратора снаружи, затем поджатие крышки к обтюратору с одновременным упором на него. При этом обтюратор раздается в радиальном направлении, чем и осуществляется предварительно, уплотнение по обеим коническим поверхностям.

Давление среды в аппарате при наличии упора на обтюратор снаружи производит заклинивание его, улучшая тем самым уплотнение.

Разборка соединения должна начинаться с отжима крышки от обтюратора внутрь, после чего обтюратор совместно с крышкой относительно легко вынимается из аппарата.

Расчет специальных обтюраций производится следующим образом. Для обтюрации типа XIV (табл. 20.33) расчетная осевая составляющая сила $P'_{\text{д}}$ в Мн (кас), действующая на обтюраторное кольцо от внутреннего давления, определяется по формуле*

$$P'_{\text{д}} = \frac{\pi}{4} \left(D_{\text{в}} + 2s - \frac{H-h}{2} \operatorname{tg} \alpha \right) \times (H-h) \operatorname{tg} (\alpha - \rho_{\text{T}}) \rho, \quad (20.15)$$

где $D_{\text{в}}$, s , H , h и α — по табл. 20.33; ρ_{T} — угол трения на уплотнительных поверхностях. Для стали по алюминию $\rho_{\text{T}} = 15^\circ$.

* Составлена из формул (3), (4) и (6) табл. 7 [163].

Расчет обтюрации типа XV (см. табл. 20.34) рекомендуется производить следующим образом.

Расчетная сила предварительного поджатия крышки к обтюратору P'_0 в Мн (кгс) определяется по формуле

$$P'_0 \geq \pi D_1 b_0 \sigma_T \frac{\sin(\alpha + \rho_T)}{\cos \rho_T}, \quad (20.16)$$

где $b_0 = 0,002$ м (0,2 см) — ширина пояса предварительного уплотнения;

σ_T — предел текучести материала обтюлятора в Мн/м² (кгс/см²).

Исходя из условия равновесия клиновидного обтюлятора в рабочих условиях силы P_1 , P_2 , P_3 и P_4 в Мн (кгс), действующие на него, определяются по формулам:

$$P_1 = \frac{\pi}{4} D_1^2 p \frac{\cos \rho_T}{\sin(\alpha + \rho_T)}; \quad (20.17)$$

$$P_2 = P_1 \frac{\cos(\alpha + \rho_T)}{\cos(\beta - \rho_T)} - 6,3F\sigma_T \frac{\cos \rho_T}{\cos(\beta - \rho_T)}; \quad (20.18)$$

$$P_3 = \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2) p; \quad (20.19)$$

$$P_4 = P_1 \frac{\sin(\alpha + \beta) \cos \rho_T}{\cos(\beta - \rho_T)} + P_3 - 6,3F\sigma_T \operatorname{tg}(\beta - \rho_T). \quad (20.20)$$

Габаритные диаметры обтюлятора D и D_3 в м (см) определяются исходя из соблюдения прочности его в рабочих условиях.

Сжатие обтюлятора с внутренней стороны осуществляется по всей конической (внутренней) поверхности, условие прочности на сжатие его изнутри будет

$$\frac{4P_1 \sin \alpha}{\pi (D_1^2 - D^2)} \leq \frac{\sigma_T}{1,375},$$

или после преобразования и решения данного неравенства относительно D

$$D \leq \sqrt{D_1^2 - \frac{1,75P_1 \sin \alpha}{\sigma_T}}. \quad (20.21)$$

Считая, что сжатие обтюлятора с наружной стороны осуществляется также по всей конической (наружной) поверхности, условие прочности на сжатие его снаружи будет

$$\frac{4P_2 \sin \beta}{\pi (D_3^2 - D^2)} \leq \frac{\sigma_T}{1,375},$$

или после преобразования и решения данного неравенства относительно D_3

$$D_3 \geq \sqrt{D^2 + \frac{1,75P_2 \sin \beta}{\sigma_T}}. \quad (20.22)$$

Пример 20.8. Определить размеры конструктивных элементов и расчетную осевую составляющую силу, действующую на обтюраторное кольцо от внутреннего давления, в обтюрации типа XIV для фланцевого присоединения крышки по следующим данным: $D_0 = 1$ м;

$p = 50$ Мн/м² (500 кгс/см²); $t_c = 20^\circ$ С; материал уплотняемых поверхностей и обтюлятора — сталь ($\sigma_T^{20} = 400$ Мн/м²); обкладка обтюлятора алюминиевым листом.

Из табл. 20.23 имеем: $\alpha = 30^\circ$; $D_0 = 950$ мм; $s = 47$ мм; $H = 120$ мм; $h = 48$ мм; $\delta = \frac{D_0}{2000} = \frac{1000}{2000} = 0,5$ мм.

Расчетную осевую составляющую силу, действующую на обтюраторное кольцо от внутреннего давления (при $\rho_T = 15^\circ$), определяем по формуле (20.15)

$$P'_n = \frac{\pi}{4} \left(D_0 + 2s - \frac{H-h}{2} \operatorname{tg} \alpha \right) \times \\ \times (H-h) \operatorname{tg}(\alpha - \rho_T) p = \\ = \frac{\pi}{4} \left(0,95 + 2 \cdot 0,047 - \frac{0,12 - 0,048}{2} \operatorname{tg} 30^\circ \right) \times \\ \times (0,12 - 0,048) \operatorname{tg}(30 - 15)^\circ 50 = \\ = 0,795 \text{ Мн (79 500 кгс)}.$$

Пример 20.9. Определить размеры конструктивных элементов и расчетные силы, действующие в самоуплотняющейся обтюрации типа XV для присоединения крышки, по следующим данным: $D_0 = 0,3$ м; $p = 150$ Мн/м² (1500 кгс/см²); $t_c = 20^\circ$ С; материал обтюлятора — сталь ($\sigma_T^{20} = 500$ Мн/м²).

Из табл. 20.34 имеем: $a = 2$ мм; $h_1 = 4$ мм; $h_2 = 6$ мм; $\alpha = 20^\circ$; $\beta = 12^\circ$; $\alpha_1 = 20 - 1 = 19^\circ$; $\beta_1 = 12 - 1 = 11^\circ$; $D_K = D_0 + 5 = 300 + 5 = 305$ мм; $D_2 = D_K + 3 = 305 + 3 = 308$ мм; $D_1 = D_0 - 2a = 308 - 2 \cdot 2 = 304$ мм.

Расчетную силу предварительного поджатия крышки определяем по формуле (20.16)

$$P_0 = \pi D_1 b_0 \sigma_T \frac{\sin(\alpha + \rho_T)}{\cos \rho_T} = \\ = \pi 0,304 \cdot 0,002 \cdot 500 \frac{\sin(20 + 8)^\circ}{\cos 8^\circ} = \\ = 0,45 \text{ Мн (45 000 кгс)}.$$

Определим силы, действующие на обтюратор в рабочих условиях.

Величину силы P_1 определяем по формуле (20.17)

$$P_1 = \frac{\pi}{4} D_1^2 p \frac{\cos \rho_T}{\sin(\alpha + \rho_T)} = \\ = \frac{\pi}{4} 0,304^2 \cdot 150 \frac{\cos 8^\circ}{\sin(20 + 8)^\circ} = \\ = 23 \text{ Мн (2 300 000 кгс)}.$$

Расчетный внутренний диаметр обтюлятора определяем по формуле (20.20)

$$D' = \sqrt{D_1^2 - \frac{1,75P_1 \sin \alpha}{\sigma_T}} = \\ = \sqrt{0,304^2 - \frac{1,75 \cdot 23 \sin 20^\circ}{500}} = 0,255 \text{ м}.$$

Принимаем $D = 250$ мм.

Площадь диаметрального сечения обтюлятора определяем по формуле из табл. 20.34

$$F = \frac{(D_1 - D)^2 \pi}{2 \operatorname{tg} \alpha} = \frac{(0,304 - 0,25)^2}{2 \operatorname{tg} 20^\circ} = 0,004 \text{ м}^2.$$

* Величина 1,375 принята исходя из соблюдения запаса прочности 1,1 при гидравлическом испытании аппарата (1,1 · 1,25 = 1,375).

Величину силы P_2 определяем по формуле (20.18)

$$P_2 = P_1 \frac{\cos(\alpha + \rho_r)}{\cos(\beta - \rho_r)} - 6,3F\sigma_r \frac{\cos \rho_r}{\cos(\beta - \rho_r)} =$$

$$= 23 \frac{\cos(20 + 8)^\circ}{\cos(12 - 8)^\circ} - 6,3 \cdot 0,004 \cdot 500 \frac{\cos 8^\circ}{\cos(12 - 8)^\circ} =$$

$$= 7,85 \text{ Мн (785 000 кгс)}.$$

Расчетный наружный диаметр обтюраора определяем по формуле (20.22)

$$D_3' = \sqrt{D_2^2 + \frac{1,75P_2 \sin \beta}{\sigma_r}} =$$

$$= \sqrt{0,308^2 + \frac{1,75 \cdot 7,85 \sin 12^\circ}{500}} = 0,318 \text{ м}.$$

Принимаем $D_3 = 320 \text{ мм}$.

Величину силы P_3 определяем по формуле (20.19)

$$P_3 = \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2) p =$$

$$= \frac{\pi}{4} (0,308^2 - 0,304^2) 150 = 0,295 \text{ Мн (29 500 кгс)}.$$

Величину силы P_4 определяем по формуле (20.20)

$$P_4 = P_1 \frac{\sin(\alpha + \beta) \cos \rho_r}{\cos(\beta - \rho_r)} +$$

$$+ P_3 - 6,3F\sigma_r \operatorname{tg}(\beta - \rho_r) =$$

$$= 23 \frac{\sin(20 + 12)^\circ \cos 8^\circ}{\cos(12 - 8)^\circ} +$$

$$+ 0,295 - 6,3 \cdot 0,004 \cdot 500 \operatorname{tg}(12 - 8)^\circ =$$

$$= 11,52 \text{ Мн (1 152 000 кгс)}.$$

Расчетную высоту обтюраора h' определяем по формуле из табл. 20.34

$$h' = \frac{D_3 - D_2}{2 \operatorname{tg} \beta} + h_1 = \frac{0,32 - 0,308}{2 \operatorname{tg} 12^\circ} +$$

$$+ 0,004 = 0,032 \text{ м}.$$

Принимаем $h = 32 \text{ мм}$.

ФЛАНЦЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Из всех разъемных неподвижных прочно-плотных соединений, применяемых в химическом аппаратостроении, наибольшее распространение имеют фланцевые соединения. С помощью фланцев присоединяются к аппаратам всевозможные крышки, трубы, соединяются между собой составные корпуса и отдельные части аппаратов, трубопроводы и т. д.

Технология изготовления фланцев зависит от материала фланца, конструкции его, способа присоединения фланца и давления среды в аппарате. В сварной аппаратуре низкого давления (при $p_c \leq 1,6 \text{ Мн/м}^2$) фланцы обычно изготавливаются из листового, полосового или фасонного (уголкового) проката с последующей приваркой их к обечайке, трубе и т. п. В литой аппаратуре фланцы выполняются как одно целое с корпусом или другими частями его. В сварной аппаратуре среднего давления (при $p_c > 1,6$ но $\leq 10 \text{ Мн/м}^2$) фланцы изготавливаются штамповкой или механической обработкой с последующей приваркой их. В ковальной и ковано-сварной аппаратуре высокого давления (при $p_c > 10 \text{ Мн/м}^2$) фланцы выполняются как одно целое с корпусом или частью его либо в виде отдельных колец, присоединяемых к соответствующим узлам или деталям аппарата с помощью резьбы.

Кроме указанных в аппаратах (при $p_c \leq 20 \text{ Мн/м}^2$) применяются так называемые свободные фланцы, изготавливаемые из листового проката или поковок, в виде свободно надеваемых на трубы или обечайки колец.

Чаще всего применяются круглые фланцы. В ряде случаев приходится применять фланцы прямоугольной формы. Наиболее технологичной и изготовлении формой фланцев является круглая форма, к которой следует всегда стремиться, если это не идет вразрез с какими-либо особыми требованиями, предъявляемыми к тому или иному узлу аппарата.

Разъемное соединение круглых частей при низком и среднем давлении целесообразно производить с помощью фланцев — для $D_f \geq 25 \text{ мм}$, а при высоком давлении — для $D_f \geq 10 \text{ мм}$. Для меньших D_f разъемное соединение осуществляется как с помощью фланцев, так и с помощью резьбовых соединений. Разъемное соединение частей прямоугольной формы производится преимущественно с помощью фланцев, независимо от давления среды.

Любое прочно-плотное фланцевое соединение должно быть прочным, герметичным, жестким и доступным для сборки, разборки и осмотра.

Основные типы фланцевых соединений, применяемых в химическом аппаратостроении, показаны на рис. 21.1. Типы обторачив, применяемых во фланцевых соединениях, приведены в табл. 20.1.

Собственно фланцы можно разбить на следующие три принципиально отличных конструктивных вида: цельные, свободные и резьбовые (рис. 21.1).

Цельные фланцы (типы I и IV) представляют собой одно целое с соединяемыми частями (приварные, литые, кованые). Этот вид фланцев круглой и прямоугольной формы — самый употребительный в химическом аппаратостроении при низких, средних и отчасти высоких давлениях среды в аппарате.

Свободные фланцы (типы II и V) целесообразно применять в соединениях стальных труб, работающих при высоких температурах, в соединениях из цветных металлов и сплавов, особенно, когда необходимо иметь фланцы из более прочного материала чем соединяемые части, в соединениях труб из неметаллических материалов, а также при требовании независимой координации (в плоскости фланцев) соединяемых частей по отверстиям для болтов или шпилек.

Резьбовые фланцы (типы III и VI), преимущественно круглой формы, применяются главным образом при высоких давлениях.

Затяжка фланцевого соединения осуществляется болтами (см. в типах II и VI), сквозными (см. в типе III) или ввертными шпильками (см. в типах I, IV и V).

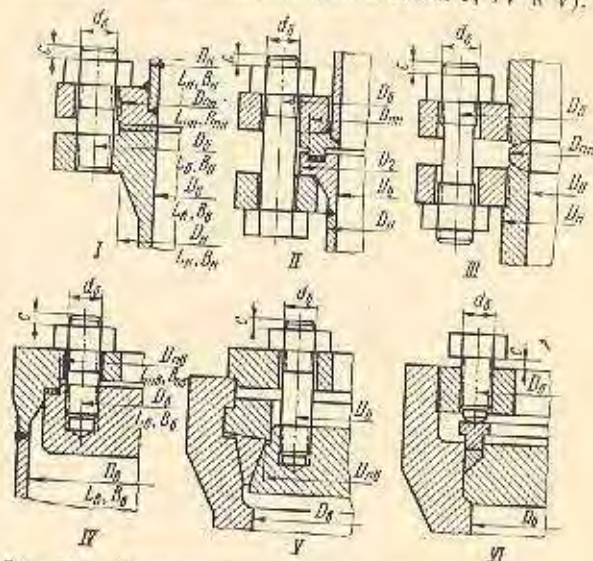


Рис. 21.1. Основные типы фланцевых соединений, применяемых в химическом аппаратостроении. I—III — наружного исполнения; IV—VI — внутреннего исполнения

На рис. 21.2 показан особый вид фланцевого соединения под зажим, отличающийся малой металлоемкостью фланцев. Затяжка таких соединений производится обычными болтами с помощью нормализованных двух траверс и упора на каждый болт. Указанные соединения в основном применяются только на давления до $1,6 \text{ Мн/м}^2$.

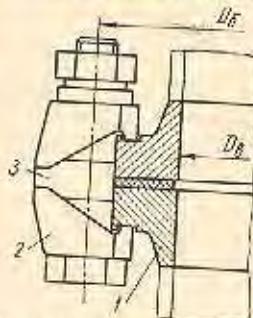


Рис. 21.2. Фланцевое соединение под зажим: 1 — фланец; 2 — траверса; 3 — упор

При конструировании химических аппаратов следует применять стандартные и нормализованные фланцы, которые имеют отдельно для арматуры, соединительных частей и трубопроводов на D_f до 800 мм, и для аппаратов на D_f от 400 мм и выше.

В ряде случаев (при четырех болтах во фланце) для $D_f < 100 \text{ мм}$ целесообразно применять квадратные фланцы, взаимозаменяемые с круглыми. Конструкция и размеры стальных плоских приварных квадратных фланцев для $p_c \leq 2,5 \text{ Мн/м}^2$ и $D_f \leq 100 \text{ мм}$ установлены ГОСТом 9938—62.

Следует иметь в виду, что стандартные и нормализованные фланцы на одни и те же параметры p_c , D_f и t_c при одинаковых материалах для арматуры имеют большие габариты и металлоемкость, чем для аппаратов. Поэтому, если к штуцерам аппаратов непосредственно не присоединяется арматура для $D_f \geq 400 \text{ мм}$, рекомендуется применять менее металлоемкие фланцы аппаратов.

Фланцевые соединения подлежат разработке в тех случаях, когда не представляется возможным применить стандартизованные и нормализованные фланцы из-за отсутствия таковых на требуемые параметры (по форме, материалу, давлению, температуре, размерам, обтяжке и т. д.).

В остальных случаях следует применять фланцы по ГОСТам и нормам на соответствующие или ближайшие большие параметры.

Разработку нового фланцевого соединения надлежит начинать с выбора типа обтяжки и определения ее размеров (см. гл. 20). Затем определяется последовательно: диаметр болтов (шпилек), их количество и, наконец, размеры элементов фланцев.

Допускаемые отклонения в размерах всех типов фланцев: диаметр болтовой окружности $D_b \pm 0,3$ мм — для $D_y \leq 500$ мм и $D_b \pm 0,5$ мм — для $D_y > 500$ мм; суммарное отклонение расстояний между люкми относительно фланца, измеренных последовательно по хордам между соседними отверстиями, — в пределах ± 1 мм для $D_y \leq 500$ мм и $\pm 1,5$ мм — для $D_y > 500$ мм; остальные размеры механически обрабатываемых поверхностей — по 7-му классу точности ОСТа 1010 и ГОСТа 2689—54; размеры литых, кованных и штампованных необрабатываемых поверхностей — по 2-му классу точности ГОСТа 1855—55.

21.1. БОЛТЫ (ШПИЛЬКИ)

Болты (шпильки) и гайки к ним во фланцевых соединениях должны приниматься по соответствующим стандартам и нормам, причем выбирать их рекомендуется, как правило, с метрической резьбой (с нормальным или мелким шагом).

Диаметр болтов (шпилек) и расстояние между ними во влозь разрабатываемых фланцевых соединениях целесообразно принимать возможно меньшими. Однако диаметр болтов (шпилек) меньше 12, и во всяком случае не менее 10 мм, применять не следует, а расстояние между их центрами должно лежать в пределах 2—5 диаметров болта, причем большие из указанных расстояний применяются при малых p_y , а меньшие — при высоких p_y .

Всегда следует стремиться расстояние от наружных размеров уплотнения до осей центров болтов (шпилек) выбирать возможно меньшим.

Указанные рекомендации приведут к наиболее рациональной конструкции фланцевого соединения с минимальными габаритами, а следовательно, и наименьшим расходом материала.

Для фланцевых соединений, требующих частой разборки, приведенные рекомендации по уменьшению диаметра болтов и увеличению их количества не всегда являются приемлемыми, поскольку это связано с относительно большим временем, необходимым на сборку и разборку соединения.

Несмотря на это, в таких случаях часто представляется целесообразным применять вместо закладных откидные болты, требующие значительно меньше времени на сборку и разборку соединения, и тогда рекомендации по выбору диаметра болтов во фланцевых соединениях остаются в силе.

Выбор болтов или шпилек в соединениях низкого и среднего давлений обуславливается в основном конструктивными соображениями. При этом применение свертных шпилек является особенно целесообразным в тех случаях, когда это позволяет сократить расстояния от наружных размеров уплотнения до осей центров шпилек. В соединениях высокого давления применяются исключительно шпильки — как свертные, так и сквозные. Диаметр несамозатяжной части шпилек в трех соединениях должен быть

равен внутреннему диаметру резьбы в шпильках с нарезанной резьбой и равен среднему диаметру резьбы в шпильках с пакатанной резьбой.

Болты (шпильки) и гайки во фланцевых соединениях низкого давления могут применяться штампованные, а в соединениях среднего и высокого давлений должны быть частью точеные.

Длину болтов (шпилек) следует принимать на такого расчета, чтобы в собранном фланцевом соединении за пределами гаек выступали концы (см. рис. 21.1); для болтов (шпилек) $d_b \leq 48$ мм $e \approx 0,25d_b$; для болтов (шпилек) $d_b > 48$ мм $e \approx 0,2d_b$.

Форма концов у болтов и шпилек для соединений низкого и среднего давлений, и также высокого давлений при $D_y < 300$ мм — усеченный конус, в соединениях аппаратов высокого давления — см. табл. 21.3.

Длина ввертываемой части свертных шпилек в соединениях низкого и среднего давлений устанавливается соответствующими ГОСТами на шпильки, а в соединениях высокого давления указанную длину рекомендуется принимать не менее $1,5d_b$.

Гайки к болтам (шпилькам) в соединениях низкого и среднего давлений обычно применяются нормальные шестигранные с двумя фасками по соответствующим ГОСТам, а в соединениях, подлежащих частой сборке и разборке, — аналогичные, но высокие.

Высоту гаек к шпилькам в соединениях высокого давления рекомендуется принимать не менее d_b . К шпилькам и гайкам для соединений высокого давления наряду с конструктивными особенностями предъявляются повышенные требования в части качества изготовления, чистоты обработки и пр.

Данные по выбору материала болтов (шпилек) и гаек помещены в первом разделе. При этом прочность материала болтов (шпилек), как правило, должна быть выше прочности сопрягаемых с ними гаек, а твердость первых — не менее чем на 20 ед. *НВ* больше вторых. Выбор материала болтов (шпилек) и гаек к ним в соединениях, работающих при высоких, низких или переменных температурах, необходимо согласовать с материалом фланцев по коэффициентам температурного удлинения. В частности, в соединениях, работающих при высоких температурах, указанные коэффициенты для материала болтов целесообразно иметь несколько ниже, чем таковые у затягиваемых этими болтами фланцев, а в соединениях, работающих при низких температурах, — наоборот, что приводит к увеличению затыта фланцевых соединений в рабочих условиях и, следовательно, — к повышению надежности их уплотнения.

В табл. 21.1 приведены диаметры резьбы болтов (шпилек), имеющих применение во фланцевых соединениях химических аппаратов, а также некоторые другие данные по болтам, требующиеся при расчетах.

В табл. 21.2 приведены рекомендуемые расстояния между центрами болтов (шпилек) t , диаметры отверстий под них d , а также минимальные расстояния l_{min} от цилиндрической стенки или горловины фланца до центров болтов или закладных шпилек и радиусы перехода R от цилиндрической или конической части фланца в плоскую.

В табл. 21.3 приведены конструктивные размеры шпилек и гаек для фланцевых соединений аппаратов высокого давления.

Расчет болтов (шпилек) производится следующим образом. Основкой исходной величиной при расчете и конструировании прочно-плотного фланцевого соединения является расчетное растягивающее усилие в болтах (шпильках) P'_b .

Величина P'_b в значительной степени зависит от вида соединения (без самоуплотнения или с самоуплотнением),

Диаметры резьбы болтов (шпильки) d_6 , внутренние диаметры резьбы d_1 и площади поперечного сечения их F_6 по внутреннему диаметру резьбы (в соответствии с ГОСТом 9150-58)

d_6		$M10 \times 1,5$	$M12 \times 1,75$	$M14 \times 2$	$M16 \times 2$	$M18 \times 2,5$	$M20 \times 2,5$	$M22 \times 2,5$	$M24 \times 3$	$M27 \times 3$	$M30 \times 3,5$	$M36 \times 4$
d_1		8,051	9,727	11,402	13,402	14,753	16,753	18,763	20,103	23,103	25,454	30,804
$F_6 \cdot 10^4, \text{м}^2$		0,509	0,744	1,02	1,41	1,71	2,20	2,76	3,17	4,19	5,09	7,45
d_6		$M42 \times 4,5$	$M48 \times 5$	$M56 \times 5,5$	$M64 \times 4$	$M68 \times 6$	$M72 \times 6$	$M76 \times 6$	$M80 \times 6$	$M85 \times 6$	$M90 \times 6$	$M95 \times 6$
d_1		35,155	41,505	48,855	55,206	60,206	64,206	68,206	72,206	77,206	82,206	87,206
$F_6 \cdot 10^4, \text{м}^2$		10,25	13,50	18,75	24,8	28,5	32,3	36,5	40,3	46,8	53,0	59,6
d_6		$M100 \times 6$	$M110 \times 6$	$M120 \times 6$	$M130 \times 6$	$M140 \times 6$	$M150 \times 6$	$M160 \times 6$	$M170 \times 6$	$M180 \times 6$	$M190 \times 6$	$M200 \times 6$
d_1		92,205	102,21	112,21	122,21	132,21	142,21	152,21	162,21	172,21	182,21	192,21
$F_6 \cdot 10^4, \text{м}^2$		66,7	82,2	95,0	117	138	159	182	207	234	261	290
d_6		$M10 \times 1$	$M12 \times 1,25$	$M14 \times 1,5$	$M16 \times 1,5$	$M18 \times 1,5$	$M20 \times 1,5$	$M22 \times 1,5$	$M24 \times 2$	$M27 \times 2$	$M30 \times 2$	$M36 \times 3$
d_1		8,701	10,377	12,051	14,051	16,051	18,051	20,051	21,402	23,402	27,402	32,103
$F_6 \cdot 10^4, \text{м}^2$		0,591	0,845	1,14	1,55	2,02	2,56	3,16	3,60	4,67	5,89	8,10
d_6		$M42 \times 3$	$M48 \times 3$	$M56 \times 4$	$M64 \times 4$	$M68 \times 4$	$M72 \times 4$	$M76 \times 4$	$M80 \times 4$	$M85 \times 4$	$M90 \times 4$	$M95 \times 4$
d_1		38,103	44,103	50,804	58,804	62,804	66,804	70,804	74,804	79,804	84,804	89,804
$F_6 \cdot 10^4, \text{м}^2$		11,4	15,3	20,3	27,2	31,0	35,0	39,3	44,0	50,0	56,4	63,4
d_6		$M100 \times 4$	$M110 \times 4$	$M120 \times 4$	$M130 \times 4$	$M140 \times 4$	$M150 \times 4$	$M160 \times 4$	$M170 \times 4$	$M180 \times 4$	$M190 \times 4$	$M200 \times 4$
d_1		94,804	104,8	114,8	124,8	134,8	144,8	154,8	164,8	174,8	184,8	194,8
$F_6 \cdot 10^4, \text{м}^2$		70,5	86,0	104	122	142	165	188	214	240	268	298

Резьбы с нормальным шагом

Резьбы с мелким шагом

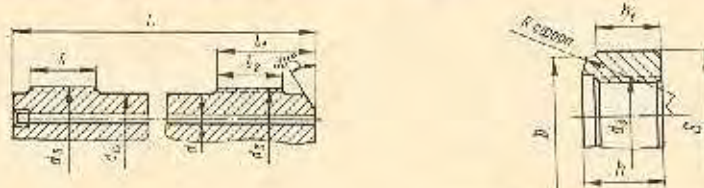
Таблица 21.2

Рекомендуемые значения t , d , l и R (по рис. 21.4, 21.17, 21.21)

d_6	t	d	l_{\min}	R_{\max}	d_6	t	d	l_{\min}	R_{\max}	d_6	t	d	l_{\min}	R_{\max}
мм														
10	32—50	12	15	5	42	90—120	48	53	15	100	200—230	108	114	30
12	38—60	14	17	6	48	102—130	54	58	17	110	220—250	118	125	
14		16	21	8	56	118—140	62	66		120	240—275	128	135	
16	42—70	18	22	10	64	136—150	70	75	23	130	260—290	138	145	
18	44—75	21	26		68	143—160	74	79		140	280—310	148	155	
20		23	28	11	72	150—170	78	83	25	150	300—330	160	165	
22	54—85	25	29		76	158—180	82	87		160	320—350	170	175	
24	57—90	27	32	14	80	165—190	86	91	27	170	340—370	180	185	
27	63—95	30	35		85	170—200	92	96		180	360—390	190	195	
30	70—100	34	41	14	90	180—210	97	102	27	190	380—410	200	205	
36	80—110	41	46		95	190—220	102	108		200	400—430	210	215	

Таблица 21.3

Конструктивные размеры шпилек и гаек для фланцевых соединений в аппаратах высокого давления [163]



d_6	l_1	l_2	h	h_1	S	D	d_6	l_1	l_2	h	h_1	S	D
мм													
64	115	95	82	75	95	90	120	205	180	154	140	175	165
68	125	105	88	80	100	95	130	225	195	176	160	185	175
72	135	110	94	85	105	100	140	240	210	192	175	200	190
76	140	115	100	90	110	105	150	255	225	204	185	210	195
80	145	120	104	95	130	125	160	270	240	230	210	230	215
85	155	130	110	100			170	285	255	242	220	245	230
90	160	135	116	105	145	135	180	300	270	258	235	260	245
95	170	145	122	110			190	315	285	270	245	275	260
100	175	150	126	115	155	145	200	330	300	280	255	290	275
110	190	165	138	125			210	330	300	280	255	290	275

Примечания:

1. Диаметр шейки шпильки $d_{ш} \approx d_1$ (внутренний диаметр резьбы) с округлением до ближайшего большего или меньшего целого числа (в мм).
2. Диаметр центрального отверстия d принимается: для $d_6 \leq 65$ мм $d = 12$ мм; для $d_6 > 65$ мм $d = 16$ мм.
3. Длина нарезанной части шпильки l (под гайку) выбирается из конструктивных соображений, исходя из условия, чтобы в собранном соединении за пределами гайки оставалось резьбы: под гайкой не менее $0,25d_6$, а над гайкой — не менее $1,5$ шагов резьбы.
4. Общая длина шпильки L определяется в зависимости от размеров сопрягаемых частей фланцевого соединения.

типа обтяжки (см. гл. 20), а также от ряда других факторов.

Для круглого наружного и внутреннего фланцевого соединения при $p < 10 \text{ Мн/м}^2$ без самоуплотнения расчетное растягивающее усилие в болтах $P'_{\text{с1}}$ и $P'_{\text{с2}}$ в Мн (кгс)

определяется по формулам ОН 26 $\frac{01-17}{02-14}$ 66:

при затяжке соединения

$$P'_{\text{с1}} = \alpha P'_c + P'_n + \frac{4M_n}{D_n}, \quad (21.1)$$

которое должно быть не менее

$$P'_{\text{с1}} = 0,5l_n b_n q; \quad (21.2)$$

при рабочих условиях

$$P'_{\text{с2}} = P'_c + P'_n + \frac{4M_n}{D_n}, \quad (21.3)$$

где P'_c — расчетная сила от давления среды в Мн (кгс) ;

P'_n — расчетная сила осевого сжатия уплотняемых поверхностей в рабочих условиях, необходимая для обеспечения герметичности (определяется в зависимости от типа обтяжки, см. в гл. 20) в Мн (кгс) ;

M_n — изгибающий момент от действия внешних нагрузок (при укреплении на фланцах частей аппарата, ветровой нагрузки, воспринимаемой фланцевым соединением и др.) в $\text{Мн} \cdot \text{м (кгс} \cdot \text{см)}$;

D_n — средний диаметр уплотнения (см. в гл. 20) в м (см) ;

α — константа жесткости соединения: при плоской резиновой прокладке $\alpha = 0,8$; при плоской прокладке неметаллической, металлической и неметаллической в металлической оболочке $\alpha = 1,45$; при металлической прокладке овального и восьмиугольного сечения $\alpha = 1,1$;

q — см. табл. 20.28.

Расчетная сила от давления среды в круглых фланцевых соединениях P'_c в Мн (кгс) определяется по формуле

$$P'_c = \frac{\pi}{4} D_n^2 p, \quad (21.4)$$

где p — расчетное давление в $\text{Мн/м}^2 \text{ (кгс/см}^2\text{)}$.

Для круглого фланцевого соединения при $p \geq 10 \text{ Мн/м}^2$ без самоуплотнения расчетное растягивающее усилие в болтах (шпильках) при затяжке соединения $P'_{\text{с1}}$ и в рабочих условиях $P'_{\text{с2}}$ считается одинаковым и определяется по формуле (21.3).

Для прямоугольного фланцевого соединения без самоуплотнения расчетное растягивающее усилие в болтах рекомендуется определять по формулам (21.1)–(21.3). При этом в (21.2) вместо D_n подставляется средняя длина уплотнения L_n , а в (21.1) и (21.3) вместо D_n — соответствующий размер прямоугольника (L_n или B_n).

Расчетная сила от давления среды в прямоугольных наружных соединениях P'_c в Мн (кгс) определяется по формуле

$$P'_c = 1,5 l_n B_n p, \quad (21.5)$$

где l_n и B_n — средние продольный и поперечный размеры уплотнения в м (см) ;

1,5 — коэффициент запаса, учитывающий неравномерную нагрузку на болты.

Для соединений с самоуплотнением, когда давление среды не воспринимается болтами (шпильками), расчетное растягивающее усилие в болтах рекомендуется определять по формуле

$$P'_c \geq P'_n \quad (21.6)$$

Определение диаметра и количества болтов в круглых наружных фланцевых соединениях аппаратов для $D_e \geq 400 \text{ мм}$ и $p \leq 6,4 \text{ Мн/м}^2$ по ОН 26 $\frac{01-17}{02-14}$ 66 производится в зависимости от диаметра болтовой окружности и конструктивного диаметра горловины фланца следующим образом.

Расчетный диаметр болтовой окружности D'_b и m определяется по формуле*

$$D'_b = \psi D_e^{0,933}, \quad (21.7)$$

где D_e — внутренний диаметр фланца, обычно равный внутреннему диаметру аппарата в м ;

ψ — коэффициент, величина которого выбирается в зависимости от p :

при $p \leq 1,6 \text{ Мн/м}^2$ $\psi = 1,11$;
 при $p \geq 1,6$ до $2,5 \text{ Мн/м}^2$ $\psi = 1,125$;
 при $p \geq 2,5$ до $4,0 \text{ Мн/м}^2$ $\psi = 1,17$;
 при $p \geq 4,0$ до $6,4 \text{ Мн/м}^2$ $\psi = 1,21$.

Расчетный диаметр болтовой окружности D'_b , определенный по формуле (21.7), округляется до ближайшего большего или меньшего размера D_b , оканчивающегося на 5 или 0 (в мм).

Расчетный диаметр болтов d'_b в м (см) определяется по формуле

$$d'_b \approx \frac{D_b - D_e}{2} - 0,006 (0,6), \quad (21.8)$$

где D_e — конструктивный диаметр горловины фланца. Для плоских фланцев (без горловины) D_e принимается равным наружному диаметру сварного шва в м (см) .

Расчетный диаметр болтов d'_b , определенный по формуле (21.8), округляется в меньшую сторону до ближайшего стандартного размера по табл. 21.1. При этом согласно ОН 26 $\frac{01-17}{02-14}$ 66 $d_b < 20 \text{ мм}$ принимать не рекомендуется.

Расчетное количество болтов z' определяется по трем формулам исходя из:

$$z' = \frac{P'_{\text{с1}}}{\sigma'_b F_b}; \quad (21.9)$$

рабочих условий

$$z' = \frac{P'_{\text{с2}}}{\sigma'_b F_b}; \quad (21.10)$$

* Следует учитывать только при $\frac{4M_n}{D_n} > 0,16 P'_c$.

* Формула обобщена из графиков 3–6 (ОН 26 $\frac{01-17}{02-14}$ 66), в значениях коэффициента ψ приведены в соответствии с радиальностью D_e и D_b в м .

рекомендуемого расстояния между центрами болтов

$$z' = \frac{\pi D_b}{l}, \quad (21.11)$$

где P'_{01} и P'_{02} — расчетные растягивающие усилия в болтах, определенные соответственно по формулам (21.1)–(21.3) в $Мн$ (кгс);

σ_{∂}^{20} и σ_{∂}^t — допускаемые напряжения на растяжение в болтах соответственно при $20^{\circ}C$ и рабочей температуре болта t_b в $Мн/м^2$ (кгс/см²);

F_b — площадь поперечного сечения выбранного болта по внутреннему диаметру резьбы принимается по табл. 21.1 в $м^2$ (см²);

l — расстояние между центрами болтов, которое рекомендуется иметь в соответствии с табл. 21.4 в $м$ (см).

Таблица 21.4

Относительные расстояния между центрами болтов l/d_b во фланцевом соединении аппаратов

(по ОН 26 01-17 66)

p_{gr} , $Мн/м^2$	l/d_b
До 0,3	4,3—5
0,6	3,8—4,6
1,0	3,5—4,2
1,6	3,0—3,8
2,5	2,7—3,5
4,0	2,3—3,0
6,4	2,1—2,8

Количество болтов z принимается наибольшим из (21.9)–(21.11) с округлением его до ближайшего большего числа критного четным.

При температуре среды в аппарате $t_c > 300^{\circ}C$ количество болтов z для изолированных фланцев должно удовлетворять условию

$$z \left[1 - \frac{t_c (\alpha_{\phi}^t - 0,96\alpha_b^t) E^t}{\sigma_{\partial}^t} \right] \geq z', * \quad (21.12)$$

где α_{ϕ}^t и α_b^t — коэффициенты линейного расширения для материалов фланца и болтов при расчетной температуре в $1^{\circ}C$;

E^t — модуль упругости материала болта (шпильки) при расчетной температуре в $Мн/м^2$ (кгс/см²).

В соединениях, работающих при температуре выше окружающей среды, расчетная температура болтов (шпильки) принимается по табл. 21.5 в зависимости от вида фланцевого соединения и конструкции болтов (шпильки) [70].

Допускаемое напряжение на растяжение в болтах (шпильках) определяется по формуле

Расчетная температура болтов (шпильки) t_b в соединениях, работающих при температуре выше окружающей среды [70]

Таблица 21.5

Конструкция болтов (шпильки) и вид фланцевого соединения	t_b , $^{\circ}C$
Для ввертных болтов (шпильки) в соединении с цельными фланцами или с цельным фланцем и крышкой	$0,97t_c$
Для сквозных шпильки (болтов) в соединении с цельными фланцами или с цельным фланцем и крышкой. Для ввертных шпильки в соединении цельного фланца или крышки со свободным или резьбовым фланцем	$0,95t_c$
Для сквозных шпильки (болтов) в соединении цельных фланцев или крышки со свободным или резьбовым фланцем. Для ввертных шпильки в соединении свободных или резьбовых фланцев. Для сквозных шпильки (болтов) в соединении свободных или резьбовых фланцев	$0,93t_c$

Примечание. t_c — температура среды в аппарате в $^{\circ}C$.

$$\sigma_{\partial} = \frac{\sigma_T^t}{n_T}, \quad (21.13)$$

где n_T — запас прочности. Принимается при наличии контроля затяжки $n_T = 2$, при отсутствии указанного контроля $n_T = 2,25$.

Допускаемые напряжения на растяжение в болтах из наиболее употребительных материалов в зависимости от расчетной температуры болтов можно определять по графикам рис. 21.3, построенным по табличным данным

ОН 26 01-17 66.

При заранее известном среднем диаметре уплотнения D_n и условии, соответствующем $d'_b \geq 24$ мм [100],

$$\frac{P'_b}{\sigma_{\partial}} \geq 0,0192D_n + 9,2 \cdot 10^{-4}, * \quad (21.14)$$

расчетный диаметр болтов d'_b в $м$ (см) в соединении рекомендуется определять по формуле

$$d'_b = 0,25 \left(\sqrt{\frac{10P'_b}{\sigma_{\partial}} + D_n^2} - D_n \right), \quad (21.15)$$

где P'_b — расчетное растягивающее усилие в болтах (шпильках). Принимается наибольшее значение из (21.1)–(21.3) в $Мн$ (кгс);

D_n — средний диаметр уплотнения в $м$ (см);

σ_{∂} — допускаемое напряжение на растяжение материала болтов при расчетной температуре в $Мн/м^2$ (кгс/см²).

* В общепринятой системе единиц правая часть уравнения (неравенства) имеет вид $1,92D_n + 9,2$.

* z' — по формуле (21.10).

Таблица 21.6

Выбор диаметра болтов (шпилек) в круглых наружных фланцевых соединениях при условии (21.16) [100]

$(0,0192D_n + 9,2 \cdot 10^{-4})^*$; $\frac{P'_b}{\sigma_d}$	d_b , мм	K^{**}
1 до 1,23	24	1,0
> 1,23 до 1,52	22	0,9
> 1,52 * 1,95	20	0,8
> 1,23 до 2,55		
> 1,95 * 2,55	18	0,7
> 2,55 * 3,55	16	0,6
> 2,55 до 5,2		
> 3,55 * 5,2	14	0,5
> 5,2 * 8,3	12	0,4
> 5,2		
> 8,3	10	0,3

Примечание. В рамках указаны предпочтительные диаметры болтов и условия их выбора.

* В общепринятой системе единиц выражение в скобках — $1,92D_n + 9,2$.

** Коэффициент, учитывающий дополнительные напряжения в болтах диаметром менее 24 мм на кручении при их затяжке [70].

Значение остальных величин см. выше.

Окончательное фактическое количество болтов или шпилек z в соединении, расчетное количество которых z' определяется по формулам (21.17) или (21.18), принимается равным ближайшему большему числу кратному четырем.

Аналогично предыдущему при заранее известных среднем диаметре уплотнения D_n в круглых внутренних фланцевых соединениях или средних размерах уплотнения L_n и B_n — в прямоугольных наружных и внутренних фланцевых соединениях получены приведенные ниже формулы и условия их применения для определения рационального диаметра болтов (шпилек) в этих соединениях, а также даны рекомендации по выбору рационального диаметра болтов при невыполнении указанных условий.

Для круглых внутренних фланцевых соединений при условии

$$\frac{P'_b}{\sigma_d} \geq 0,0192D_n - 9,2 \cdot 10^{-4} * \quad (21.19)$$

расчетный диаметр болтов (шпилек) d'_b и m (см) рекомендуется определять по формуле

$$d'_b = 0,25 \left(D_n - \sqrt{D_n^2 - 10 \frac{P'_b}{\sigma_d}} \right) \quad (21.20)$$

В тех случаях, когда условие (21.19) не выдержано, т. е. при условии

$$\frac{P'_b}{\sigma_d} < 0,0192D_n - 9,2 \cdot 10^{-4} *, \quad (21.21)$$

выбор болтов производится по табл. 21.7.

* В общепринятой системе единиц правая часть уравнения (неравенства) имеет вид $1,92 D_n - 9,2$.

Расчетный диаметр болтов d'_b , определенный по формуле (21.15), округляется до ближайшего стандартного размера d_b по табл. 21.1: большего — при $d'_b \leq 36$ мм; меньшего — при $d'_b > 36$ мм.

В тех случаях, когда условие (21.14) не выдержано, т. е. при условии

$$\frac{P'_b}{\sigma_d} < 0,0192 + 9,2 \cdot 10^{-4} *, \quad (21.16)$$

выбор болтов (шпилек) рекомендуется производить согласно табл. 21.6.

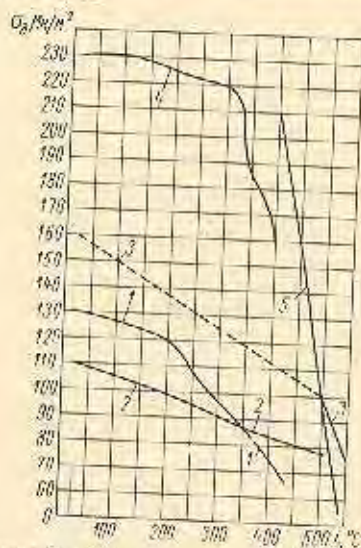


Рис. 21.3. Допускаемые напряжения на растяжение в стальных болтах диаметром $d_b \geq 20$ мм:

1 — для марки 35; 2 — для марок 1Х18Н10Т и 1Х17Н3М2Т; 3 — для марки 4Х14НМВ2М; 4 — для марок 35Х, 38ХА, 4Х18Н10ГНФБ (до 350°С); 5 — для марок 25Х2МФА и 2Х12ВМБФР (со специальной термообработкой до $\sigma_v = 900$ МПа/мм²)

В обоих случаях расчетное количество шпилек следует определять по формуле

$$z' = \frac{P'_b}{K \sigma_d F_b} \quad (21.17)$$

где K — коэффициент, учитывающий снижение допускаемого напряжения в болтах диаметром $d_b < 24$ мм на кручении при их затяжке. (Значения K см. в табл. 21.6.)

Значение остальных величин см. выше.

Расчетное количество шпилек во фланцевых соединениях аппаратов высокого давления определяется по формуле

$$z' = \frac{K P'_b}{\sigma_d (F_b - 0,785 d^2)} \quad (21.18)$$

где K — коэффициент, учитывающий влияние крутящего момента при затяжке шпилек. При обтормаживании типа XIV (см. табл. 20.1) $K = 1$, при обтормаживании типа III и IV $K = 1,2$;

d — диаметр центрального отверстия в шпильке (см. табл. 21.3) в мм (см).

* В общепринятой системе единиц правая часть уравнения (неравенства) имеет вид $1,92 D_n - 9,2$.

Таблица 21.7

Выбор диаметра болтов (шпильки)
в круглых внутренних фланцевых соединениях
при условии (21.21)

$(0,0192D_n - 9,2 \cdot 10^{-4})^* \cdot \frac{P'_b}{\sigma_d}$	$d_b, \text{ мм}$
≥ 1 до 1,23	24
$\geq 1,23$ * 2,55	20
$\geq 2,55$ * 5,2	16
$\geq 5,2$	12

* В общепринятой системе единиц выражение в скобках — $1,92D_n - 9,2$.

Для прямоугольных наружных фланцевых соединений при условии

$$\frac{P'_b}{\sigma_d} \geq 0,01 (L_n + B_n) + 15,1 \cdot 10^{-4} \cdot z, \quad (21.22)$$

расчетный диаметр болтов (шпильки) d'_b в мм (см) рекомендуется определять по формуле

$$d'_b = 0,084 \left[\sqrt{(L_n + B_n)^2 + 56 \frac{P'_b}{\sigma_d}} - (L_n + B_n) \right]. \quad (21.23)$$

В тех случаях, когда условие (21.22) не выдержано, т. е. при условии

$$\frac{P'_b}{\sigma_d} < 0,01 (L_n + B_n) + 15,1 \cdot 10^{-4} \cdot z, \quad (21.24)$$

выбор болтов производится по табл. 21.8.

Для прямоугольных внутренних фланцевых соединений при условии

$$\frac{P'_b}{\sigma_d} \geq 0,01 (L_n + B_n) - 15,1 \cdot 10^{-4} \cdot z, \quad (21.25)$$

расчетный диаметр болтов (шпильки) d'_b в мм (см) рекомендуется определять по формуле

$$d'_b = 0,084 \left[(L_n + B_n) - \sqrt{(L_n + B_n)^2 + 56 \frac{P'_b}{\sigma_d}} \right]. \quad (21.26)$$

В тех случаях, когда условие (21.25) не выдержано, т. е. при условии

$$\frac{P'_b}{\sigma_d} < 0,01 (L_n + B_n) - 15,1 \cdot 10^{-4} \cdot z, \quad (21.27)$$

выбор болтов производится по табл. 21.8.

* В общепринятой системе единиц правая часть уравнения (неравенства) имеет вид $(L_n + B_n) \pm 15,1$.

Таблица 21.8

Выбор диаметра болтов (шпильки)
в прямоугольных наружных и внутренних
фланцевых соединениях при условии (21.27)

Для наружных соединений	$d_b, \text{ мм}$
$[0,01 (L_n + B_n) + 15,1 \cdot 10^{-4}]^* \cdot \frac{P'_b}{\sigma_d}$	
Для внутренних соединений	$d_b, \text{ мм}$
$[0,01 (L_n + B_n) - 15,1 \cdot 10^{-4}]^* \cdot \frac{P'_b}{\sigma_d}$	
≥ 1 до 1,23	24
$\geq 1,23$ * 2,55	20
$\geq 2,55$ * 5,2	16
$\geq 5,2$	12

* В общепринятой системе единиц выражения в квадратных скобках $(L_n + B_n) + 15,1$ и $(L_n + B_n) - 15,1$.

Расчетный диаметр болтов d'_b , определенный по формулам (21.20), (21.23) и (21.26), округляется до ближайшего стандартного размера так же, как и при определении d'_b по (21.15).

Во всех перечисленных случаях расчетное количество болтов (шпильки) z' определяется по формуле (21.17), в которой значение коэффициента K принимается по табл. 21.6 (при $d_b \geq 24$ мм $K = 1$), а фактическое количество их z принимается равным ближайшему числу кратному четырем. В любом случае расстояние между центрами болтов не должно превышать $5d_b$.

Применение формул (21.14)–(21.16) и (21.19)–(21.27), а также табл. 21.6–21.8 для определения диаметра болтов (шпильки) во фланцевых соединениях позволяет конструировать их с минимальными габаритами и наименьшей металлоемкостью.

Размещение болтов (шпильки) во фланцевых соединениях производится на равном расстоянии друг от друга. При этом в вертикальных круглых фланцах располагать болты (шпильки) по вертикальным и горизонтальным осям их не рекомендуется.

Расчетный диаметр болтовой окружности D'_b (в круглых фланцах) и расчетные расстояния между крайними осями болтов и продольном и поперечном направлениях L'_b и B'_b (в прямоугольных фланцах) в мм (см) рекомендуется определять:

для круглых наружных фланцевых соединений с цельными и резьбовыми фланцами со сквозными болтами или шпильками (см. рис. 21.1, типы I — верх и III) по формуле

$$D'_b = D + 2d_b + 0,015 (1,5); \quad (21.28)$$

для тех же соединений, но с ввертными шпильками (см. рис. 21.1, тип I — низ) — по формуле

$$D'_b = D_{nn} + 1,6d_b; \quad (21.29)$$

для круглых наружных фланцевых соединений со свободными фланцами (см. рис. 21.1, тип II) — большее значение из (21.28) и формулы

$$D'_G = D_2 + d_G; \quad (21.30)$$

для круглых внутренних фланцевых соединений (см. рис. 21.1, типы IV и V) — по формуле

$$D'_G = D_{na} - 1,6d_G; \quad (21.31)$$

для круглых внутренних фланцевых соединений (см. рис. 21.1, тип VI) D_G равен среднему диаметру обтюра; для прямоугольных наружных фланцевых соединений со сквозными болтами или шпильками (см. рис. 21.1, тип I — верх) — по формуле (21.28), в которой вместо D'_G и D подставляются соответственно L'_G и L и B'_G и B ;

для прямоугольных внутренних фланцевых соединений (см. рис. 21.1, тип IV) — по формуле (21.31), в которой вместо D'_G и D_{na} подставляются соответственно L'_G и L_{na} и B'_G и B_{na} ;

где D — наружный диаметр горловины фланца, обечайки или трубы в м (см);
 D_{na} и D_{na} — наружный и внутренний диаметры уплотнения в м (см);
 L_{na} и B_{na} — внутренние размеры уплотнения в прямоугольных соединениях в м (см);
 D_2 — наружный диаметр бурга в соединениях со свободными фланцами в м (см).

Определенные по формулам (21.28) — (21.30) значения D'_G , L'_G и B'_G округляются до ближайших больших, а по формуле (21.31) — до ближайших меньших размеров D'_G , L'_G и B'_G , оканчивающихся на 5 и 0 (в мм).

Пример 21.1. Определить расчетное растягивающее усилие в болтах, диаметр и число их, а также размещение во фланце по рис. 21.4 тип I для присоединения крышки к обтюрающей, рассчитанной в примере 20.1, по следующим данным: фланец цельный прямоугольный плоский приварной; $L \times B = 0,624 \times 0,424 \text{ м}^2$; $M_n = 0$; материал болтов — сталь марки Ст.5 ($\sigma_T^{20} = 280 \text{ МПа/м}^2$).

Из примера 20.1 имеем: $L_n \times B_n = 0,62 \times 0,42 \text{ м}^2$; $L_{na} \times B_{na} = 0,64 \times 0,44 \text{ м}^2$; $l_{nc} = 2,08 \text{ м}$; $b_g = 0,017 \text{ м}$; $P'_n = 0,00354 \text{ Мн}$ (354 кгс); $p = 0,1 \text{ МПа/м}^2$ (1 кгс/см²).

Расчетную силу от давления среды в аппарате определяем по формуле (21.5)

$$P'_n = 1,5 l_{nc} B_n p = 1,5 \cdot 0,62 \cdot 0,42 \cdot 0,1 = 0,039 \text{ Мн} (3900 \text{ кгс}).$$

Расчетное растягивающее усилие в болтах (при константе жесткости соединения $\alpha = 0,8$ и $M_n = 0$) при затяжке соединения определяем по формуле (21.1)

$$P'_{G1} = \alpha P'_c + P'_n = 0,8 \cdot 0,039 + 0,00354 = 0,0347 \text{ Мн} (3470 \text{ кгс}).$$

Проверим минимальное значение растягивающего усилия в болтах (при $q = 1,5 \text{ МПа/м}^2$ для резьбы — см. табл. 20.28) по формуле (21.2)

$$P'_{G1} = 0,5 L_{nc} b_g q = 0,5 \cdot 2,08 \cdot 0,017 \cdot 1,5 = 0,0265 \text{ Мн} < 0,0347 \text{ Мн}.$$

Расчетное растягивающее усилие в болтах при рабочих условиях определяем по формуле (21.3)

$$P'_{G2} = P'_{G1} + P'_n = 0,039 + 0,00354 = 0,0425 \text{ Мн} (4250 \text{ кгс}).$$

Допускаемое напряжение на растяжение в болтах при $n_T = 2,25$ определяем по формуле (21.13)

$$\sigma_d = \frac{\sigma_T}{n_T} = \frac{280}{2,25} = 124 \text{ МПа/м}^2 (1240 \text{ кгс/см}^2).$$

Определим отношение

$$\frac{P'_{G1}}{\sigma_d} = \frac{0,0425}{124} = 0,000343.$$

Определим значение величины

$$0,01 (L_n + B_n) + 15,1 \cdot 10^{-4} = 0,01 (0,62 + 0,42) + 15,1 \cdot 10^{-4} = 0,01191.$$

Поскольку $0,000343 < 0,01191$, имеет место условие (21.24), диаметр болтов выбираем по табл. 21.7:

для отношения $\frac{0,01191}{0,000343} = 34,8 > 5,2 d_G = 12 \text{ мм}$.

Выбираем по табл. 21.1 болты M12 $\times 1,75 \text{ мм}$, $F_G = 0,744 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$. Для этих болтов (по табл. 21.6) $K = 0,4$. Расчетное количество болтов определяем по формуле (21.17)

$$z' = \frac{P'_{G1}}{K \sigma_d F_G} = \frac{0,0425}{0,4 \cdot 124 \cdot 0,744 \cdot 10^{-4}} = 11,5.$$

Расчетное расстояние между крайними осями болтов в продольном и поперечном направлениях определяем по формуле (21.28):

$$L'_G = L_n + 2d_G + 0,015 = 0,624 + 2 \cdot 0,012 + 0,015 = 0,663 \text{ м};$$

$$B'_G = B_n + 2d_G + 0,015 = 0,424 + 2 \cdot 0,012 + 0,015 = 0,463 \text{ м}.$$

Принимаем $L_G = 664 \text{ мм}$ и $B_G = 464 \text{ мм}$. Расчетное количество болтов, исходя из максимального шага между их центрами $5d_G$,

$$z' = \frac{2(L_G + B_G)}{5d_G} = \frac{2(0,664 + 0,464)}{5 \cdot 0,012} = 37,6.$$

Принимаем $z = 38$.

Пример 21.2. Определить расчетное растягивающее усилие в болтах, диаметр и число их, а также диаметр болтовой окружности для наружного фланцевого соединения с обтюрающей, рассчитанной в примере 20.2, по следующим данным: фланец цельный приварной с конической горловиной толщиной стенки $s_g = 37,5 \text{ мм}$; $M_n = 0$; материал болтов — сталь марки X18H10T.

Из примера 20.2 имеем: $D_g = 1,0 \text{ м}$; $D_n = 1,097 \text{ м}$; $p = 3 \text{ МПа/м}^2$ (30 кгс/см²); $P'_n = 0,439 \text{ Мн}$ (43900 кгс); $b_g = 0,017 \text{ м}$.

Расчетную силу от давления среды в аппарате определяем по формуле (21.4)

$$P'_c = \frac{\pi}{4} D_n^2 p = \frac{\pi}{4} 1,097^2 \cdot 3 = 2,825 \text{ Мн} (282500 \text{ кгс}).$$

Расчетное растягивающее усилие в болтах (при константе жесткости соединения $\alpha = 1,45$ и $M_n = 0$) — при затяжке соединения определяем по формуле (21.1)

$$P'_{G1} = \alpha P'_c + P'_n = 1,45 \cdot 2,825 + 0,439 = 4,539 \text{ Мн} (453900 \text{ кгс}).$$

Проверим минимальное значение растягивающего усилия в болтах (при $q = 20 \text{ Мн/м}^2$ для паронита — см. табл. 20.28) по формуле (21.2)

$$P'_{01} = 0,5\pi D_n b_p q = 0,5\pi 1,097 \cdot 0,017 \cdot 20 = 0,585 \text{ Мн} < 4,539 \text{ Мн}.$$

Расчетное растягивающее усилие в болтах при рабочих условиях определяем по формуле (21.3)

$$P'_{02} = P'_c + P'_n = 2,825 + 0,439 = 3,264 \text{ Мн} (326\,400 \text{ кгс}).$$

Допускаемое напряжение на растяжение в болтах определяем по графику рис. 21.3 $\sigma_d = 110 \text{ Мн/м}^2$ (1100 кгс/см^2).

Расчетный диаметр болтовой окружности при коэффициенте $\varphi = 1,17$ (для $p > 2,5$ до $4,0 \text{ Мн/м}^2$) определяем по формуле (21.7)

$$D'_b = \varphi D_b^{0,933} = 1,17 \cdot 1,0^{0,933} = 1,17 \text{ м}.$$

Диаметр горловины фланца

$$D_a = D_b + 2s_s = 1,0 + 2 \cdot 0,0375 = 1,075 \text{ м}.$$

Расчетный диаметр болтов определяем по формуле (21.8)

$$d'_b = \frac{D_b - D}{2} - 0,006 = \frac{1,17 - 1,075}{2} - 0,006 = 0,0415 \text{ м}.$$

Выбираем по табл. 21.1 болты $M42 \times 4,5 \text{ мм}$, $F_b = 10,25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

Определим расчетное количество болтов: исходя из затяжки соединения — по формуле (21.9)

$$z' = \frac{P'_b}{\sigma_d^{20} F_b} = \frac{4,539}{110 \cdot 10,25 \cdot 10^{-4}} = 40,2;$$

исходя из рабочих условий — по формуле (21.10)

$$z' = \frac{P'_{02}}{\sigma_d^2 F_b} = \frac{3,264}{110 \cdot 10,25 \cdot 10^{-4}} = 29;$$

исходя из рекомендуемого максимального расстояния между центрами болтов — для ближайшего большего $p = 4 \text{ Мн/м}^2$ (по табл. 21.4 $t \leq 3d_b$) — по формуле (21.11)

$$z' = \frac{\pi D_b}{3d_b} = \frac{\pi \cdot 1,17}{3 \cdot 0,042} = 29,2.$$

Принимаем максимальное количество болтов из условия затяжки соединения $z = 40$.

Произведем определение указанных величин по рекомендованной выше другой методике.

Определим отношение

$$\frac{P'_b}{\sigma_d} = \frac{4,5391}{110} = 0,0412.$$

Определим значение величины

$$0,0192D_n + 9,2 \cdot 10^{-4} = 0,0192 \cdot 1,097 + 9,2 \cdot 10^{-4} = 0,02212.$$

Поскольку $0,0412 > 0,02212$, то имеет место условие (21.14) и, следовательно, расчетный диаметр болтов определяем по формуле (21.15)

$$d'_b = 0,25 \left(\sqrt{10 \frac{P'_b}{\sigma_d} + D_n^2} - D_n \right) = 0,25 \left(\sqrt{10 \frac{4,539}{110} + 1,097^2} - 1,097 \right) = 0,0433 \text{ м},$$

т. е. диаметр болтов по обеим методикам получился практически один и тот же.

Окончательно выбираем болты по табл. 21.1 $M42 \times 3 \text{ мм}$, $F_b = 11,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

Расчетное количество болтов, исходя из их затяжки, определяем по формуле (21.9)

$$z' = \frac{P'_b}{\sigma_d^{20} F_b} = \frac{4,539}{110 \cdot 11,4 \cdot 10^{-4}} = 36,15.$$

Принимаем $z = 36$.

Расчетный диаметр болтовой окружности определяем по формуле (21.28)

$$D'_b = D + 2d'_b + 0,015 = 1,075 + 2 \cdot 0,042 + 0,015 = 1,172 \text{ м}.$$

Окончательно принимаем $D_b = 1170 \text{ мм}$.

Проверим величину шага между центрами болтов

$$t = \frac{\pi D_b}{z} = \frac{\pi \cdot 1,17}{36} = 0,102 \text{ м или } 2,43d_b.$$

Пример 21.3. Определить расчетное растягивающее усилие в шпильках, диаметр и количество их, а также диаметр болтовой окружности для наружного фланцевого соединения с обтормаживанием, рассчитанной в примере 20.4, по следующим данным: фланцы резьбовые, толщина стенки обечайки $s = 30 \text{ мм}$; $M_u = 0$; материал шпильки — сталь ($\sigma_d = 230 \text{ Мн/м}^2$).

Из примера 20.4 имеем: $D_n = 0,3 \text{ м}$; $D_k = 0,317 \text{ м}$; $p = 25 \text{ Мн/м}^2$ (250 кгс/см^2); $P'_n = 0,523 \text{ Мн}$.

Расчетную силу от давления среды в аппарате определяем по формуле (21.4)

$$P'_c = \frac{\pi}{4} D_n^2 p = \frac{\pi}{4} 0,317^2 \cdot 25 = 1,97 \text{ Мн} (197\,000 \text{ кгс}).$$

Расчетное растягивающее усилие в шпильках при затяжке их и в рабочих условиях (при $M_u = 0$) определяем по формуле (21.3)

$$P'_b = P'_c + P'_n = 1,97 + 0,523 = 2,493 \text{ Мн} (249\,300 \text{ кгс}).$$

Определим отношение

$$\frac{P'_b}{\sigma_d} = \frac{2,493}{230} = 0,01085.$$

Определим значение величины

$$0,0192D_n + 9,2 \cdot 10^{-4} = 0,0192 \cdot 0,317 + 9,2 \cdot 10^{-4} = 0,00701.$$

Поскольку $0,01085 > 0,00701$, то имеет место условие (21.14). Расчетный диаметр шпилек определяем по формуле (21.15)

$$d'_b = 0,25 \left(\sqrt{10 \frac{P'_b}{\sigma_d} + D_n^2} - D_n \right) = 0,25 \left(\sqrt{10 \frac{2,493}{230} + 0,317^2} - 0,317 \right) = 0,0355 \text{ м}.$$

Выбираем по табл. 21.1 шпильки М36×4 мм, $F_b = 7,45 \cdot 10^{-4}$ м.

Расчетное количество шпилек определяем по формуле (21.17)

$$z' = \frac{P'_b}{K\sigma_d F_b} = \frac{2,493}{1 \cdot 230 \cdot 7,45 \cdot 10^{-4}} = 14,55.$$

Принимаем $z = 16$.

Расчетный диаметр болтовой окружности определяем по формуле (21.28)

$$D'_b = D + 2d_b + 0,015 = (0,3 + 2 \cdot 0,03) + 2 \cdot 0,036 + 0,015 = 0,447 \text{ м.}$$

Принимаем $D_b = 450$ мм.

Проверим величину шага между центрами шпилек

$$t = \frac{\pi D_b}{z} = \frac{\pi \cdot 0,45}{16} = 0,0885 \text{ м, или } 2,45d_b.$$

Пример 21.4. Определить расчетное растягивающее усилие в шпильках, диаметр и количество их, а также диаметр болтовой окружности для наружного фланцевого соединения труб с обтяжкой, рассчитанной в примере 20.6, по следующим данным: фланцы свободные на бурте с конической горловиной; толщина стенки трубы $s = 16$ мм, толщина горловины и месте стыка с буртом $s_2 = 24$ мм, а диаметр бурта $D_2 = 0,31$ м (см. пример 21.7); материал шпилек — специальная сталь ($\sigma_d^{20} = 300 \text{ Мн/м}^2$); $M_a = 0$.

Из примера 20.6 имеем: $D_a = 0,2$ м; $p = 20 \text{ Мн/м}^2$; $D_n = D_k = 0,223$ м; $P'_n = 0,218 \text{ Мн}$.

Расчетную силу от давления среды в аппарате определяем по формуле (21.1)

$$P'_c = \frac{\pi}{4} D_a^2 p = \frac{\pi}{4} 0,223^2 \cdot 20 = 0,78 \text{ Мн (78 000 кгс)}.$$

Расчетное растягивающее усилие в шпильках при затяжке соединения и в рабочих условиях определяем по формуле (21.3)

$$P'_b = P'_c + P'_n = 0,78 + 0,218 = 0,998 \text{ Мн (99 800 кгс)}.$$

Определим отношение

$$\frac{P'_b}{\sigma_d} = \frac{0,998}{300} = 0,00333.$$

Определим значение величины

$$0,0192D_n + 9,2 \cdot 10^{-4} = 0,0192 \cdot 0,223 + 9,2 \cdot 10^{-4} = 0,0052.$$

Поскольку $0,00333 < 0,0052$, то имеет место условие (21.16), и поэтому выбор шпилек производим по табл. 21.6:

для отношения $\frac{0,0052}{0,00333} = 1,56 - d_b = 20 \text{ мм}$ $K = 0,8$.

Принимаем шпильки М20 × 2,5, $F_b = 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$. Расчетное количество шпилек определяем по формуле (21.17)

$$z' = \frac{P'_b}{K\sigma_d F_b} = \frac{0,998}{0,8 \cdot 300 \cdot 2,2 \cdot 10^{-4}} = 18,9.$$

Принимаем $z = 20$,

Расчетный диаметр болтовой окружности определяем по двум формулам (21.28) и (21.30):

$$D'_b = D + 2d_b + 0,015 = (0,2 + 2 \cdot 0,024) + 2 \cdot 0,02 + 0,015 = 0,303 \text{ м;}$$

$$D'_b = D_2 + d_b = 0,31 + 0,02 = 0,33 \text{ м.}$$

Принимаем большее значение $D_b = 330$ мм.

Проверим величину шага между центрами шпилек

$$t = \frac{\pi D_b}{z} = \frac{\pi \cdot 0,33}{20} = 0,0519 \text{ м или } 2,59d_b.$$

21.2. ЦЕЛЬНЫЕ ФЛАНЦЫ

Основные типовые конструкции цельных фланцев, применяемых в химическом аппаратостроении, показаны на рис. 21.4.

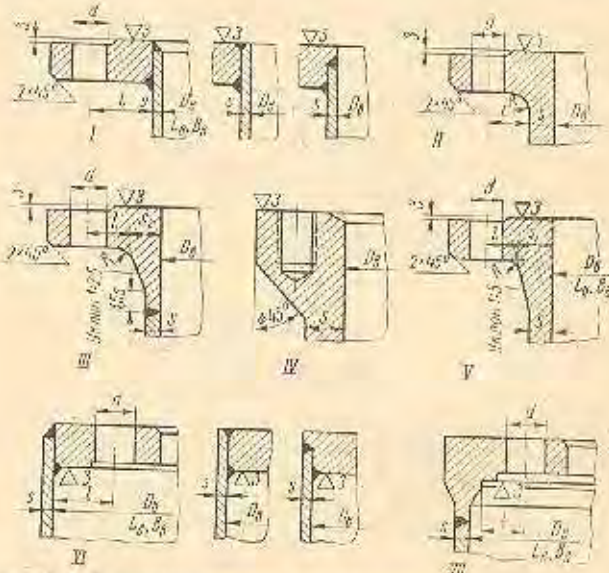


Рис. 21.4. Основные типовые конструкции цельных фланцев, применяемых в химическом аппаратостроении; I — приварные

при $p_a \leq 2,5 \text{ Мн/м}^2$ и $t_c \leq 350^\circ \text{C}$; II — кованные при $\sqrt{\frac{D_a}{s}} < 4$;

III — приварные при $p_a \geq 2,5 \text{ Мн/м}^2$ и при $p_a < 2,5 \text{ Мн/м}^2$,

если $t_c > 350^\circ \text{C}$, и кованные при $\sqrt{\frac{D_a}{s}} > 4$; IV — кованные с шпильками; V — литые; VI — приварные при $p_a \leq 1,6 \text{ Мн/м}^2$ и $t_c \leq 350^\circ \text{C}$; VII — приварные при $p_a > 1,6 \text{ Мн/м}^2$ при $t_c > 350^\circ \text{C}$, кованные и литые

В табл. 21.9—21.17 приведены основные данные о стандартизованных и нормализованных цельных фланцах.

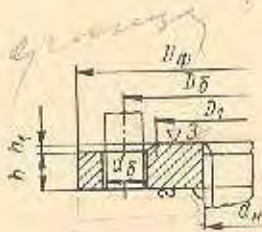
Материал цельных фланцев обычно соответствует материалу соединяемых частей.

В соединениях, работающих при высокой, низкой или переменной в процессе эксплуатации температуре, коэффициент линейного расширения материала фланцев и болтов (шпилек) должен быть одинаковым.

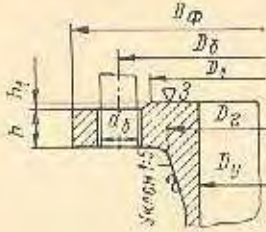
Расчетная температура цельных фланцев принимается равной температуре среды в аппарате.

Таблица 21.9

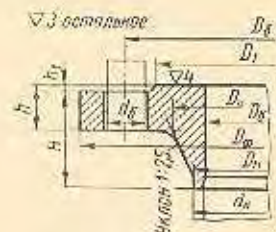
Фланцы арматуры, соединительных частей и трубопроводов из черных металлов, цельные
(по ГОСТам 1235—67, 1255—67, 12821—67, 12830—67)



Тип 1



Тип 2 и 3



Тип 4

Р _у , МПа/кгс	D _у	d _н	D _ф	D _б	D _г	Бошты		Тип фланцев															
						d _б	z	1		2		3		4									
								ГОСТ 1255—67		ГОСТ 1235—67		ГОСТ 12821—67		ГОСТ 12830—67									
								h, мм	Масса, кг	D _д	h	D _д	h	D _д	D _н	D _б	h	Масса, кг					
			мм					мм															
0,25	10	14	75	50	35	M10	4	8	0,25					22			23	8	0,29				
0,6															25			27	10	0,34			
1,0																			12	0,50			
1,6					90	60		40	M12							26	15	8	33	14	0,59		
2,5																							
4,0					100	70		50	M20							34			46	16	1,03		
6,4																							43
10,0					120	62		55															
20,0																							
0,25	15	18	80	55	40	M10	4	8	0,29	31	10			28			26	8	0,34				
0,6																				28	10	0,40	
1,0					95	65		45	M12			37	12			30	10	12	33	12	0,68		
1,6																							
2,5					105	75		55	M20							45	16	38	50	16	1,15		
4,0																							
6,4					120	82										51	24	40	23	14	52	1,93	
10,0																							
16,0																							
20,0																							
0,25	20	25	90	65	50	M10	4	10	0,45	38	12			36			28	8	0,46				
0,6																				30	10	0,53	
1,0					105	75		58	M12			42	14			44	12	38	26	18	36	12	0,87
1,6																							
2,5					125	90		68	M16							52	18	48	54	18	51	1,80	
4,0																							
6,4					130			63	M20							60	26	46	29	19	56	2,08	
10,0																							
16,0																							
20,0																							

Р _у , МПа/МТ	D _y	d _K	D _ф	D _б	D ₁	Болты		Тип фланцев																											
						d _б	z	1				2		3		4																			
								ГОСТ 1285-67		ГОСТ 1235-67		ГОСТ 12821-67		ГОСТ 12830-67																					
								h, мм	Масса, кг	D _с	h	D _д	h	D _с	D _K	D _д	H	h	Масса, кг																
						мм																													
0,25	25	32	100	75	60	M10	4	10	0,55	47	12	—	—	42	33	25	28	8	0,55																
0,6									0,64										30	12	0,76														
1,0									0,89																										
1,6									115										85	68	M12	16	11,7	—	—	49	14	—	12	45	33	25	38	12	1,05
2,5																																			
4,0																																			
6,4																																			
10,0	150	102	73	M24	—	—	—	—	67	28	54	36	33	25	36	60	28	3,56																	
16,0																																			
20,0																																			
0,25	32	38	120	90	70	M12	4	10	0,79	56	13	—	—	50	39	31	28	8	0,78																
0,6									1,01										33	12	1,10														
1,0									1,40																										
1,6									135										100	78	M16	16	1,58	60	16	56	14	55	39	31	31	40	13	1,54	
2,5																																			
4,0																																			150
6,4																																			
10,0	160	115	86	M24	—	—	—	—	68	22	64	39	31	43	65	21	2,94																		
16,0																																			
20,0																																			
0,25	40	45	130	100	80	M12	4	10	0,95	64	13	—	—	60	46	38	33	9	1,09																
0,6									1,21										35	12	1,36														
1,0									1,71																										
1,6									145										110	88	M16	17	1,96	68	16	64	14	62	46	38	38	42	13	1,83	
2,5																																			
4,0																																			165
6,4																																			
10,0	170	124	91	M24	—	—	—	—	80	22	74	46	38	65	21	3,75																			
16,0																																			
20,0																																			
0,25	50	57	140	110	90	M12	8	10	1,04	74	13	—	—	70	58	49	33	9	1,26																
0,6									1,33										35	12	1,53														
1,0									2,06																										
1,6									160										125	102	M16	19	2,58	80	17	74	14	76	58	49	42	13	2,26		
2,5																																			
4,0																																		175	135
6,4																																			
10,0	195	145	115	M24	—	—	—	—	91	25	86	58	45	64	23	4,63																			
16,0																																			
20,0	210	160	129	M24	—	—	—	—	108	27	105	61	46	75	27	6,49																			

P_{fl} МПа/кгс	D_y	d_H	D_Φ	D_6	D_1	Болты		Тип фланцев															
						d_B	z	1		2		3		4									
								ГОСТ 1255-67		ГОСТ 1235-67		ГОСТ 12321-67		ГОСТ 12830-67									
								h, мм	Масса, кг	D_e	h	D_c	h	D_2	D_H	D_p	H	h	Масса, кг				
мм						мм																	
0,25	65	76	160	130	110	M12	4	11	1,39	94	13	—	—	88	77	66	33	9	1,62				
0,6								13	1,63											100	17	94	15	94	35	12	1,97
1,0			17	2,80	106	19		96	50	19	3,71												
1,6			21	3,42								106	25	106			64	72	25	6,29			
2,5			21	3,22	114	29		110	62	80	29										8,57		
4,0			—	—								118	31	110			85	31	9,10				
6,4			—	—	140	45		138	90	68	118									45	19,2		
10,0			200	160								132	M20	—			—	—	—			—	—
16,0			220	170	140	M24		—	—	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—	—
20,0			260	203	167	M27		—	—	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—	—
0,25	80	89	185	150	128	M16	4	11	1,84	108	15	—	—	102	90	78	35	11	2,43				
0,6								15	2,44											114	19	108	15
1,0			17	3,19	110	17		110	50	17	4,21												
1,6			21	3,71								116	19	112			52	19	4,44				
2,5			23	4,06	128	27		120	55	21	4,80												
4,0			—	—								132	31	124			57	27	7,22				
6,4			—	—	132	33		124	75	87	31									9,98			
10,0			210	170								142	M20	—			—	—	—		—	—	—
16,0			230	180	150	M24		—	—	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—	
20,0			290	230	190	M30		—	—	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—	
0,25	100	108	205	170	148	M16	4	11	2,14	128	15	—	—	122	110	96	37	11	2,98				
0,6								15	2,85											134	19	128	15
1,0			19	3,96	136	21		130	17	130	48	17	4,70										
1,6			23	4,73										136			21	130	17	130	50	17	4,90
2,5			25	5,92	136	21		130	17	130	58	21	6,51										
4,0			—	—										140			21	138	21	138	65	23	7,40
6,4			—	—	152	29		140	29	140	77	29	10,7										
10,0			250	200										170			M24	—	—	—	—	—	—
16,0			265	210	175	M27		—	—	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—		
20,0			360	292	245	M36		—	—	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—		
0,25	125	133	235	200	178	M16	8	11	2,60	155	17	—	—	148	135	121	37	11	3,72				
0,6								17	3,88											161	21	156	19
1,0			21	5,40	165	23		160	25	160	57	19	6,75										
1,6			25	6,36										169			25	160	25	160	65	23	9,27
2,5			27	8,26	181	33		172	33	172	120	25	10,0										
4,0			—	—										181			33	172	33	172	118	25	10,0
6,4			—	—	189	41		180	41	180	112	33	17,1										
10,0			295	240										205			M27	—	—	—	—	—	—
16,0			310	250	210	M30		—	—	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—		
20,0			385	318	271	M36		12	—	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—		
0,25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
0,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
1,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
2,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
4,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
6,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
10,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
16,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
20,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					

ρ _{ст} , МН/М ³	D _г	k _н	D _ф	D _б	D ₁	Болты		Тип фланцев																					
						d _б	z	1				2		3		4													
								ГОСТ 1255-67		ГОСТ 1385-67		ГОСТ 12821-67		ГОСТ 12830-67															
								k, мм	Масса, кг	D _г	h	D _г	h	D _г	h	D _г	h	D _г	h	Масса, кг									
0,25	150	159	260	225	302	M16	8	13	3,43	180	17	—	—	172	161	146	38	11	4,30										
0,6			17	4,39	21	6,62		25	7,81											27	10,1	198	27	188	68	25	12,5		
1,0			21	6,62	25	7,81		27	10,1											198	27	188	68	25	12,5				
1,6			280	240	212	M20	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
2,5			300	250	218	M24		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
4,0			340	280	240	M30		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
6,4			350	290	250	M30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
10,4			440	360	306	M42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
16,0			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
20,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—										
0,25	200	219	315	280	258	M16	8	15	4,73	234	19	—	—	235	222	202	45	13	6,92										
0,6			19	5,89	21	8,05		27	10,1											29	13,3	240	23	240	58	19	11,4		
1,0			21	8,05	27	10,1		29	13,3											240	23	240	58	19	11,4				
1,6			335	295	242	M20	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
2,5			360	310	278	M24		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
4,0			375	320	280	M27		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
6,4			405	345	300	M30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
10,0			430	360	315	M36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
16,0			535	440	380	M48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
20,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—										
0,25	250	273	370	335	312	M16	12	18	6,95	286	20	—	—	288	278	254	45	16	9,88										
0,6			20	7,67	23	10,7		28	14,5											31	18,9	292	25	298	27	292	60	21	14,6
1,0			23	10,7	28	14,5		31	18,9											292	25	298	27	292	60	21	14,6		
1,6			390	350	320	M20	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
2,5			405	355	320	M24		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
4,0			425	370	335	M27		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
6,4			445	385	345	M30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
10,0			470	400	355	M36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
16,0			500	430	380	M36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
20,0	670	572	508	M52	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—										
0,25	300	325	435	395	365	M20	12	18	9,33	336	20	—	—	340	330	303	45	16	13,4										
0,6			20	10,3	24	12,9		28	17,8											32	24,0	342	25	348	27	346	60	22	18,7
1,0			24	12,9	28	17,8		32	24,0											342	25	348	27	346	60	22	18,7		
1,6			460	410	378	M24	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
2,5			485	430	390	M27		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
4,0			510	450	410	M30		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
6,4			530	460	415	M36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
10,0			585	500	445	M42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								
16,0			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—								

$\rho_{ст}$ МН/М ²	D_{fl}	d_H	D_{fl}	D_B	D_1	Болты		Тип фланцев												
						d_B	2	1		2		3		4						
								ГОСТ 1235-67		ГОСТ 1235-67		ГОСТ 12821-67		ГОСТ 12830-67						
								h, мм	Масса, кг	D_a	h	D_a	h	D_a	h	D_e	D_H	D_a	H	h	Масса, кг
мм						мм														
0,25	350	377	485	445	415	M20	12	18	10,5	390	22	—	—	390	382	351	45	16	16,0	
0,6								22	12,6								50	18	17,7	
1,0			500	460	430	M24		24	15,9	396	26	400	60	22			24,0			
1,6								30	22,9	408	34	402	30	70			28	32,0		
2,5			550	490	450	M30		38	34,4	—	—	418	40	406			85	36	46,6	
4,0												430	48	418			116	48	70,3	
6,4			595	525	475	M36		—	—	—	—	442	56	430			342	140	56	98,7
10,0												466	72	460			332	195	72	172
0,25	400	426	535	495	465	M20	16	18	11,6	442	24	—	—	440	432	398	45	16	18,6	
0,6								24	15,2								50	18	20,6	
1,0			565	515	482	M24		26	21,6	448	28	445	60	22			30,0			
1,6								34	31,0	460	36	456	32	450			75	32	43,0	
2,5			610	550	505	M30		40	44,6	—	—	472	44	464			100	40	64,8	
4,0												488	54	480			135	54	107	
6,4			670	585	525	M42		—	—	—	—	500	62	484			386	155	62	136
10,0												520	76	510			376	200	76	203
0,25	500	530	640	600	570	M20	16	20	16,0	348	25	—	—	545	535	501	50	19	26,7	
0,6								25	19,7								90	38	71,0	
1,0			670	620	585	M24		28	27,7	552	30	559	100	44			88,9			
1,6								44	57,0	570	42	584	40	570			500	135	58	132
2,5			730	660	615	M36		48	67,3	—	—	580	48	580			495	135	58	132
4,0												592	58	—			—	—	—	—
6,4			800	705	640	M48		—	—	—	—	610	66	—			—	—	—	—
0,25												600	630	755			705	670	M24	20	20	21,4	646	25	—	—	650	636	602	55	19	35,8
0,6	25	26,2	65	24	48,8															
1,0	780	725	685	M27	31	39,4	654	31	672	43	660			90	41	99,3				
1,6					45	80,3	682	49	684	51	670			600	115	49	124			
2,5	840	770	720	M36	—	—	—	—	696	58	—			—	—	—				
4,0									720	71	—			—	—	—				
6,4	925	820	750	M52	—	—	—	—	720	71	—			—	—	—				

Продолжение табл. 21.9

$\rho_{ст}$ Мн/м ²	D_y	d_n	$D_{ф}$	D_6	D_1	Болты		Тип фланцев													
						d_6	z	1				2		3		4				Масса, кг	
								ГОСТ 1285—67		ГОСТ 1235—67		ГОСТ 12821—67		ГОСТ 12830—67							
								A_1 мм	Масса, кг	D_2	h	D_2	h	D_2	h	D_2	h	D_2	h		
мм																					
0,25	800	820	975	920	880	M27	24	21	36,6	852	25	—	—	844	820	792	60	19	56,2		
0,6			1010	950	905	M30	28	—	—	866	29	—	—	—			—	75	27	87,2	
1,0			1075	990	930	M36	—	—	—	882	49	880	47	850			—	—	95	45	131
1,6			1135	1030	960	M42	24	—	—	—	—	896	59	874			—	790	135	55	214
2,5			—	—	—	M52	—	—	—	—	—	920	71	—			—	—	—	—	—
4,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			

Примечания:

1. Пределы применения фланцев и зависимости от температуры среды см. в табл. 21.10.
2. Материал фланцев, болтов (шпилек) и гаек см. в табл. 21.11.
3. Типы и размеры уплотнительных поверхностей во фланцах, а также значения A_1 см. в табл. 20.3.
4. Типы фланцев: 1 — плоский с соединительным выступом приварной или углеродистой стали; 2 — литой из серого чугуна; 3 — литой стальной; 4 — с горловиной приварной встык из углеродистой и легированных сталей.
5. Приведенные размеры для каждого из типов фланцев являются одинаковыми для любых уплотнительных поверхностей в пределах их применения согласно табл. 20.3.
6. Масса фланцев типа 1 указана для фланцев с соединительным выступом и гладкой уплотнительной поверхностью. Для получения приблизительной массы фланца того же типа с другими уплотнительными поверхностями надлежит применять коэффициент: для фланца без соединительного выступа — 0,95; для фланца с выступом — 0,99; для фланца с впадиной — 0,97.
7. Масса фланцев типа 4 указана для фланцев с соединительным выступом и гладкой уплотнительной поверхностью. Для получения приблизительной массы фланца того же типа с другими уплотнительными поверхностями надлежит применять коэффициент: для фланца с выступом — 0,99; для фланца с впадиной — 0,95; для фланцев с штифом и пазом — 0,96.

Пределы применения фланцев арматуры, соединительных частей и трубопроводов из черных металлов

Таблица 21.10

(по ГОСТам 1235—67, 12815—67, 12821—67 — 12825—67, 12830—67 — 12835—67, 1268—67, 1272—67)

Фланцы		$\rho_{ст}$ Мн/м ²	Температура среды, °С
ли- тые	из серого чугуна	$\leq 1,6$	≤ 300
	из стали	1,6—2,5	≤ 450
		4,0—20	≤ 530
при- вар- ные	плоские	$\leq 2,5$	≤ 300
			≤ 450
	с горловиной встык	4,0—20	≤ 530

Наибольшее рабочее давление для фланцев из серого чугуна не должно превышать следующих значений в Мн/м²:

$\rho_{ст}$ Мн/м ²	При температуре среды не более °С			
	120	200	250	300
0,25	0,25	0,25	0,2	0,2
0,6	0,6	0,55	0,5 **	0,5 **
1,0	1,0	0,9 *	0,8 **	0,8 ***
1,6	1,6	1,5 ***	1,4 ****	1,3 ****

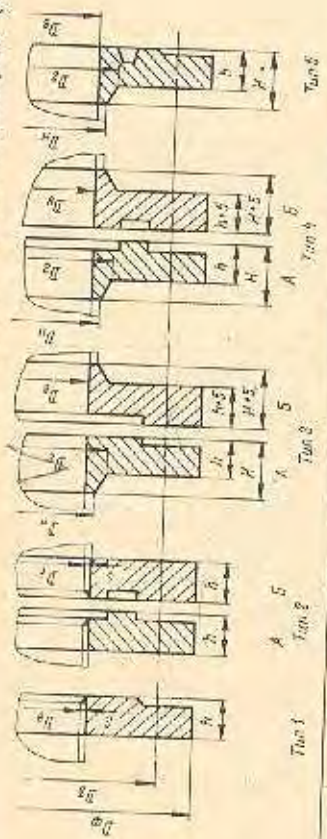
* Для $D_y < 600$ мм.** Для $D_y < 500$ мм.*** Для $D_y < 300$ мм.**** Для $D_y < 200$ мм.

Таблица 21.11

Материал деталей по фланцевым соединениям арматуры, соединительных частей и трубопроводов из черных металлов
(по ГОСТам 1285—67, 12815—67, 12821—67, 12825—67, 12830—67, 12835—67, 12885—67, 12885—67, 1272—67)

Наименование детали	R _p , МПа/кгс	Марки металлов при температуре среды не более °С					
		800	350	425	450	530	
Фланцы	≤ 1,6	Не ниже СЧ 15-32	—	—	—	20Л-III 25Л-III	—
	1,6—2,5							20Л-II и 25Л-II
	4,0—6,4	20ХМЛ					
	10—20		25Л-III				
плоские приварные	≤ 2,5	ВМ Ст.3сп ВК Ст.3сп	—	—	—	—	
							20 и 25
с горлованой приварные встык	4,0—20	—	20 и 25	—	—	15ХМ 15ХМА	
						—	
Борты и шпильки	≤ 2,5	20 и 25	25 и 35	30ХМА	—		
	4,0—10					35	30ХМА
	16—20	35	35Х	35ХМА	25Х1МФ		
					—		
Гайки	≤ 2,5	10 и 20	20 и 25	—	—		
	4,0—10					25	
	16—20	25	35	35Х	30ХМА 35ХМА		

Фланцы стальных сварных аппаратов цельные для обечаек и днищ с внутренними базовыми размерами (по данным Гипропетромаша)
 Таблица 21.12



P, МПа МПа/МПа	D _{вн}	D _ф	D _б	D _г	D _к	s _{плн}	мм					мм		мм		мм		Масса, кг				
							H		A			K		d _б	z	i			j		k	
							с	д	1	2	3	4	5			А	Б		А	Б		
0,3		530	490			6			18	24			15		12,4	13,8						
0,6							50		30	35			20		16,8	22,4						
1,0	400	535	495	428	412		54		32	38			21		18,0	23,9			18,8			
1,6							65													21,6		
2,5							76													26,2		
4,0		590	530	444	424		90	98												47,5		
6,4													20							64,8		
0,3		580	540			6			20	25					14,4	15,9						
0,6							55		32	38					20,9	28,5						
1,0	450	590	550	452	464		60		35	42				24,2	31,9					23,4		
1,6							65														27,0	
2,5							80														33,4	
4,0		640	580	498	476		90	98													54,3	
6,4																					78,0	
0,3		530	590			6			20	25					15,9	17,6						
0,6							58		24	30					19,7	21,5						
1,0	500	610	600	532	514		62		34	40				23,5	33,7						27,5	
1,6							70		40	45				29,4	34,3							32,8
2,5		690	630	542	522		85															39,5
4,0		695	635	550	528		105	112														67,5
6,4				568	538																	94,5
																						104

Продолжение табл. 21.12

F _н M _н /M _к	D _к	D _ф	D _б	D ₂	D _к	s _{пл.}	H				h				Болты		Типы фланцев																										
							3 и 4		5		1		2		3 и 4		5		z	A	B	S H 4																					
							3	4	5	5	1	2	3	4	3	4	5	A				B	5																				
0,3 0,6 1,0 1,6 2,5 4,0 6,4	600	730	690	—	—	6	—	22	28	—	—	—	—	—	—	M20	24	20,8	23,2	—	—	—	—																				
								28	34	—	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—													
								38	44	65	32	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—	—	37,6	44,3	—	—	—	—	—	—											
								46	52	68	38	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—	—	—	43,0	49,7	—	—	—	—	—	—										
								—	—	75	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—	—	—	—	50,5	57,3	—	—	—	—	—	—									
								—	—	102	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—	—	—	—	95,2	107	—	—	—	—	—	—	—								
—	—	128	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	152	163	—	—	—	—	—	—	—	—																	
—	—	135	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—																
0,3 0,6 1,0 1,6 2,5 4,0 6,4	700	830	780	—	—	6	25	30	—	—	—	—	—	—	—	M20	28	25,9	28,7	—	—	—	—																				
							34	40	—	—	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—										
							45	50	72	32	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—							
							52	58	80	40	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—						
							—	—	85	—	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
							—	—	110	—	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
—	—	140	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—													
—	—	148	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—												
0,3 0,6 1,0 1,6 2,5 4,0 6,4	800	930	890	—	—	6	26	32	—	—	—	—	—	—	—	M20	32	31,0	33,7	—	—	—	—																				
							38	44	—	—	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—						
							52	58	90	35	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
							60	65	98	42	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
							—	—	125	—	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
							—	—	165	—	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
—	—	175	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—											
0,3 0,6 1,0 1,6 2,5 4,0 6,4	900	1030	990	—	—	6	30	35	—	—	—	—	—	—	—	M20	36	40,5	43,1	—	—	—	—																				
							44	50	—	—	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
							54	60/50	90	40	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
							68	74	100	45	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
							—	—	108	—	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
							—	—	132	—	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	188	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—										
—	—	200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—									
0,3 0,6 1,0 1,6 2,5 4,0 6,4	1000	1045	1005	952	918	8/12	90	90	—	—	—	—	—	—	—	M20	40	77,3	87,2	—	—	—	—																				
							100	100	—	—	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
							108	108	108	44	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
							940	940	940	48	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
							1018	1018	1018	95	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
							—	—	—	—	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 21.12

$P_{\text{пр}}$ $M_{\text{пр}}, \text{кВт}$	$D_{\text{ф}}$	$D_{\text{ф}}$	D_6	D_8	D_{10}	δ_{min}	k						Борты				Тяги фланцев																				
							δ		для гаек		δ		d_6	z	l	a	b	l	δ			δ															
							3	4	1	2	3	4							5	4	5		4	5													
0,3	1400	1535	1495	—	—	8	38	44	—	—	—	—	M20	52	81,1	80,0	83,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—						
0,6		1555	1515	1466	1422	8/12	62	68	58	68	—	—	M22	54	127	126	130	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—						
1,0		1610	1555	1492	1442	—	84/78	90/84	—	85	—	—	M27	—	184/161	203/181	210/187	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
1,6		1670	1600	1518	1456	—	—	—	—	100	—	—	M36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
2,5		1765	1675	1572	1486	—	—	—	—	138	—	—	M48	48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				
4,0						290	—	—	—	275	—	—																									
6,4							42	48	—	—	—	—	M20	56	93,2	92,0	95,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
0,3	1500	1635	1595	—	—	8	68	74	65	74	—	—	M24	64	146	145	149	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
0,6		1655	1615	1566	1522	10/18	92/74	98/80	—	88	—	—	M30	—	218/195	237/177	244/182	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
1,0		1720	1665	1600	1544	—	—	—	—	105	—	—	M36	60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
1,6		1775	1705	1624	1560	—	—	—	—	140	—	—	M48	52	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
2,5		1875	1785	1682	1586	300	—	—	—	300	—	—																									
4,0							42	48	—	—	—	—	M20	60	95,7	94,5	98,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
6,4		1740	1700	—	—	10	70	75	70	75	—	—	M27	72	155	154	158	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0,3	1600	1765	1725	1672	1626	10/16	100/84	105/90	—	75	—	—	M30	68	266/202	284/225	291/231	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0,6		1805	1750	1688	1636	—	—	—	—	88	—	—	M36	64	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
1,0		1835	1775	1704	1646	—	—	—	—	112	—	—	M48	56	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,6		1880	1810	1730	1664	—	—	—	—	148	—	—																									
2,5		1990	1900	1794	1687	320	—	—	—	320	—	—																									
4,0							42	48	—	—	—	—	M20	64	106	105	110	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6,4		1840	1800	—	—	10	76	82	75	82	—	—																									
0,3	1700	1940	1900	—	—	—	48	54	—	—	—	—	M20	68	144	133	138	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0,6		1935	1950	1890	1832	—	—	—	—	88	—	—	M24	72	218	216	221	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
1,0		2025	1970	1902	1838	—	—	—	—	75	—	—	M30	64	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
1,6							—	—	—	85	—	—																									

Продолжение табл. 21.12

$\rho_{\text{пл}}, \text{МПа}$	D_0	$D_{\text{ф}}$	D_0	D_0	D_2	$D_{\text{к}}$	$s_{\text{пл}}$	h	Типы фланцев				Масса, кг					
									Болты					3	4	А	Б	
									4	6	8	10						
														3 и 4	5	1	2	3 и 4
0,3 0,6	1900	2040	2000	—	—	—	10	—	53	60	—	M20	68	147	148	151	—	—
0,3 0,6	2000	2140	2100	—	—	—	—	—	58	64	—	—	72	172	170	176	—	—
1,0 1,6	2200	2305	2160	2100	2034	—	—	185	—	—	80	—	76	—	—	—	573	597
0,3 0,6	2400	2550	2310	—	—	—	12	—	58	64	—	—	80	216	214	—	—	—
1,0 1,6	2500	2415	2370	2310	2286	—	—	195	—	—	85	—	72	—	—	—	710	736
0,3 0,6	2600	2750	2710	—	—	—	—	—	62	68	—	—	85	247	245	252	—	—
0,3	2800	2950	2310	—	—	—	12	—	68	74	—	—	92	279	277	284	—	—
3000	3150	3110	—	—	—	—	—	—	80	85	—	—	96	390	388	398	—	—

Примечания:

1. Дробные значения фланцевых соединений в зависимости от температуры среды см. в табл. 21.13.
2. Фланцы всех типов могут изготавливаться монокомпонентными и с внешним легированным слоем (см. рис. 21.5).
3. Материал фланцев, болтов (шпильки) и гаек см. в табл. 21.14.
4. Размеры уплотнительных поверхностей во фланцах см. в табл. 20.5.
5. Дробные значения величин $s_{\text{пл}}$ и h в массе) даны в расчете для плоских фланцев без приварных ступок, в остальных для плоских фланцев с приварными ступками (рис. 21.6). Масса ступок для фланцев с $D_{\text{ф}} \leq 1100$ мм $L_{\text{ст}} = 150$ мм, для фланцев с $D_{\text{ф}} = 1200-1600$ мм $L_{\text{ст}} = 200$ мм, для фланцев с $D_{\text{ф}} > 1500$ мм $L_{\text{ст}} = 250$ мм.

Пределы применения фланцевых соединений в стальных сварных аппаратах
(по данным Гипронефтемаша)

$P_{\text{н}}$, Мн/м ²	Группа материала фланцев	Давления рабочие наибольшие (Мн/м ²) при температуре среды не более °С															
		50	100	200	250	300	350	400	425	450	475	500	530	540			
0,3 0,6	I и IV	0,3	0,28	0,27	0,26	0,23	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
		0,6	0,57	0,54	0,51	0,46	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
1,0	I	1,0	0,96	0,9	0,86	0,77	0,7	0,63	0,54	0,43 *	0,38 *	0,66	0,47	0,32			
	II		1,0	1,0	1,0	0,97	0,94	0,91	0,88	0,86	0,84						
	III		0,97	0,92	0,87	0,82	0,78	0,72	0,68	0,64	0,6				0,54	0,45	0,37
	IV		0,95	0,88	0,86		0,79	0,76	0,75	0,73	0,72				0,71	0,7	0,7
1,6	I	1,6	1,5	1,4	1,35	1,2	1,1	1,0	0,85	0,69 *	0,61 *	—	—	—			
	II		1,6	1,6	1,6	1,55	1,5	1,45	1,4	1,35	1,34				1,05	0,74	0,52
	III		1,55	1,47	1,39	1,31	1,25	1,15	1,09	1,02	0,96				0,86	0,72	0,59
	IV		1,48	1,4	1,37		1,27	1,21	1,2	1,17	1,15				1,14	1,13	1,12
2,5	I	2,5	2,4	2,2	2,15	1,95	1,75	1,6	1,3	1,07 *	0,95 *	—	—	—			
	II		2,5	2,5	2,5	2,42	2,35	2,28	2,2	2,15	2,1				1,65	1,19	0,8
	III		2,42	2,3	2,17	2,05	1,96	1,8	1,7	1,6	1,5				1,35	1,13	0,92
	IV		2,3	2,2	2,14	2,06	1,98	1,9	1,87	1,83	1,8				1,78	1,76	1,75
4,0	I	4,0	3,8	3,5	3,4	3,1	2,9	2,6	2,1	1,72 *	1,52 *	—	—	—			
	II		4,0	4,0	4,0	3,9	3,8	3,6	3,5	3,44	3,35				2,65	1,9	1,3
	III		3,88	3,68	3,48	3,28	3,12	2,88	2,72	2,56	2,4				2,16	1,8	1,48
	IV		3,8	3,54	3,43	3,3	3,2	3,04	3,0	2,93	2,88				2,85	2,82	2,8
6,4	I	6,4	6,0	5,6	5,45	4,6	4,1	3,4	2,75	2,75 *	2,43 *	—	—	—			
	II		6,4	6,4	6,4	6,2	6,0	5,8	5,6	5,4	5,35				4,25	3,05	2,05
	III		6,2	5,9	5,57	5,25	5,0	4,6	4,35	4,1	3,84				3,46	2,88	2,37
	IV		6,1	5,65	5,5		5,1	4,86	4,8	4,7	4,6				4,55	4,5	4,47

Примечания:
1. Группы материалов фланцев соответствуют следующим маркам сталей: I — ВСт.Зсп. 20, 09Г2С, 16ГС и 20Л—II;
II — 12МХ, 12ХМ, 15ХМ и 20ХМ—Л; III — ХМ и ХМ—Л; IV — Х18Н10Т и Х17Н13М2Т.
2. Для рабочих температур от минус 40 до минус 70° С, материал фланцев — сталь марки 09Г2С, наибольшее давление равно условному.

* Только для стали марок 09Г2С и 16ГС.

Материал деталей во фланцевых соединениях стальных сварных аппаратов
(по данным Гипроисфтемаша)

Таблица 21.14

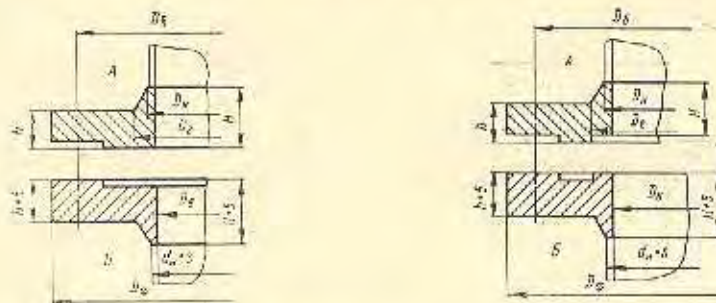
Наименование детали		R_{σ} , МПа	Марки стали при температуре среды не более °С			
			300	425	475	540
Фланцы	плоские приварные	≤ 1,6	ВСт.3	—	—	—
			X18H10T X17H13M2T			
	с горловиной приварные встык	≥ 1,0 до 6,4	ВСт.3, 20, 20Л-11, 09Г2С и 16ГС		09Г2С и 16ГС	
			12ХМ, 12МХ, 15ХМ, Х5М, Х5МЛ и 20ХМЛ			
		X18H10T и X17H13M2T				
Болты и шпильки	≤ 0,6	35	—	—	—	
		4X12H18Г8МФБ				
	≥ 1,0 до 6,4	35Х		20ХН3А		
		25Х1МФ, 25Х2МФА и 4X12H18Г8МФБ				
Гайки	≤ 0,6	25	—	—	—	
		X18H10T				
	≥ 1,0 до 6,4	35		10Г2		
		30ХМА и X18H10T				

Примечания:

1. Фланцы из указанных марок углеродистой, низколегированной и легированной сталей могут быть (см. рис. 21.6) облицованы слоем из высоколегированной стали марок 0X13, 0X18H10T и X17H13M2T.
2. Болты и шпильки из стали марки 4X12H18Г8МФБ, а также гайки из стали марки X18H10T относятся только к монометаллическим фланцам из стали марок X18H10T и X17H13M2T.
3. Болты, шпильки и гайки соединений с фланцами, облицованными высоколегированной сталью, принимаются как для необлицованных.

Таблица 21.15

Фланцы стальных сварных аппаратов цельные для обечаек и днищ с наружными базовыми размерами (по данным Гипронсфемаша)

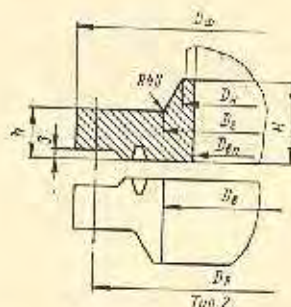
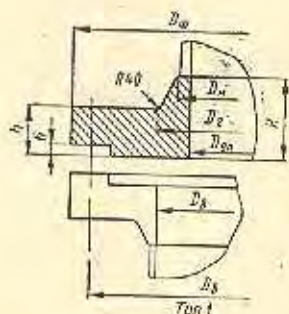


P_D МН/к²	$d_n \times s$	D_b	D_f	D_c	D_z	D_k	H	h	БОЛТЫ		ФЛАНЦЫ	
									d_B	z	A	B
											Масса, кг	
2,5	426×9	408	535	495	442	426	65	35	M20	24	24,4	28,8
4,0				452	432	74	44	47,2			54,7	
6,4	426×12	402	590	530	456	434	92	60	M30	20	64,1	70,5
2,5	480×12	456		550	500	480	65	35			M20	24	30,0	30,5
4,0			580	504	482	78	45	M30	20	58,6	59,0	
2,5	529×9	512	640	600	550	532	70	40	M20	28	35,3	40,0
4,0	529×12	506		690	630	555	535	80			M30	24	66,2	71,4
2,5	630×10	610	740	700	650	635	75	50	M20	32	39,0	51,4
4,0	630×14	602		795	735	660	632				100	M30	28	97,5	107
1,6	720×10	700	850	810	746	720	80	40	M20	40	61,6	67,4
2,5	720×12	696				724	85	50			73,5	80,5

Примечания:
 1. Пределы применения фланцевых соединений в зависимости от температуры среды см. в табл. 21.13.
 2. Фланцы могут изготовляться монометаллическими и с защитным легированным слоем (см. рис. 21.5).
 3. Материал фланцев, болтов (шпалеков) и гаек см. в табл. 21.14.
 4. Размеры уплотнительных поверхностей по фланцам см. в табл. 20.5 для соответствующих ближайших значений D_n .
 5. На рисунке слева показаны фланцы с уплотнением в выступ-впадине, на рисунке справа — с уплотнением в шип-пазу.

Фланцы стальных сварных аппаратов стальные цельные переходные
(по данным Гипронефтемаша)

Таблица 21.16



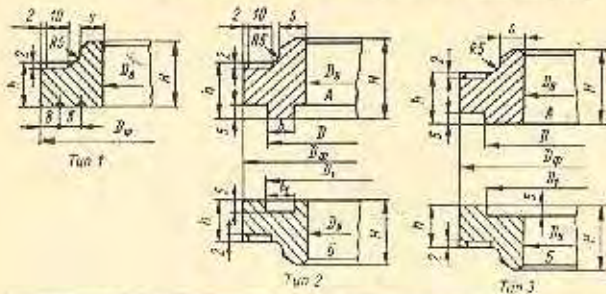
$P_{гг}$, Мн/м ²	$D_{вн}$	$D_{в}$	$D_{г}$	$D_{н}$	H	h	Масса, кг
1,0	400	500	440	412	70	30	46,0
1,6							54,0
2,5							85,0
4,0							111
6,4							170
1,0	500	600	544	514	80	34	64,5
1,6							76,0
2,5							102
4,0							181
6,4							263
1,0	600	700	652	616	95	36	83,6
1,6							108
2,5							139
4,0							193
6,4							650
1,0	700	800	760	716	105	38	108
1,6							154
4,0							273
1,0	800	900	866	818	110	40	127
1,6							194
2,5							221
4,0							352
6,4							1085

$P_{гг}$, Мн/м ²	$D_{вн}$	$D_{в}$	$D_{г}$	$D_{н}$	H	h	Масса, кг
1,0	1000	1100	1072	1020	125	48	192
1,6							275
2,5							332
4,0							626
6,4							1555
1,0	1200	1400	1294	1220	165	55	475
1,6							665
2,5							850
4,0							1330
6,4							2320
1,0	1400	1600	1512	1422	205	70	616
1,6							925
2,5							1157
4,0							1870
6,4							3140

Примечания:
 1. Пределы применения фланцевых соединений в зависимости от температуры среды см. в табл. 21.13.
 2. Фланцы могут изготовляться монометаллическими и с защитным легированным слоем (см. рис. 21.5).
 3. Материал фланцев, болтов (шпилек) и гаек см. в табл. 21.14.
 4. Размеры уплотнительных поверхностей во фланцах для типа 1 (с выступом), для типа 2 (под металлическую прокладку восьмиугольного сечения) см. в табл. 20.6 для соответствующих $D_{г}$.
 5. Значения $D_{в}$ и $D_{н}$ см. в табл. 21.12 для соответствующих $D_{г}$.
 6. Дробные значения величин H и h даны в числителе для фланцев типа 1, в знаменателе для фланцев типа 2.

Фланцы стальные под зажим для сварных аппаратов (по МН 3983—62—МН 3985—62)

Таблица 21.17



Условное обозначение фланца типа 2-А на $p_y = 0,6 \text{ Мн/м}^2$ с $D_g = 500 \text{ мм}$: «Фланец АБ—500 МН 3984—62»

p_y , Мн/м ²	D_g	D_{ϕ}		h			H	D	s	Болты		Типы фланцев				
		для типов				d_{ϕ}				z	2		3			
		1	2 и 3	1,2-Б и 3-Б	2-А и 3-А						А	Б	А	Б		
		мм											Масса, кг			
0,1—0,6 1,0 1,6 2,5	400	450	456	20	22	30	447	5	M16	20	5,1	5,5	5,6	5,9	5,2	
		460	460							28	7,0	7,5	7,7	8,0	7,1	
										M20	22	7,2	7,7	7,9	8,2	7,4
											22	7,4	7,9	8,1	8,5	7,7
0,1—0,6 1,0 1,6	450	500	506	20	22	30	497	5	M16	20	6,4	6,9	7,1	7,4	6,6	
		510								30	7,8	8,4	8,6	9,0	8,0	
										M20	24	8,0	8,6	8,8	9,2	8,3
0,1—0,6 1,0 1,6	500	550	558	30	32	40	547	5	M16	32	7,0	7,5	7,7	8,0	7,1	
		560								20	8,6	9,2	9,5	9,8	8,7	
										M20	26	12,8	13,8	14,1	14,8	13,3
0,1—0,6 1,0	550	600	606	20	22	30	600	5	M16	36	7,8	8,4	8,6	9,0	8,0	
		610								616	30	9,4	10,1	10,3	10,8	9,6
0,1—0,6 1,0	600	650	656	30	32	40	650	5	M16/M20	40/20	8,5	9,1	9,4	9,8	8,7	
		660								660	M20	24	14,8	15,8	16,3	16,9	15,8
0,1—0,6	650	700	706	20	22	30	700	5	M16/M20	42/24	9,3	10,0	10,2	10,7	9,5	
0,1—0,3 0,6	700	750	756	30	32	40	750		M16/M20	44/24	10,0	10,7	11,0	11,5	10,5	
									M20	24	14,3	15,3	15,7	16,4	14,5	
0,1—0,3 0,6	800	860	856	20	22	30	847		M16/M20	48/24	11,3	12,1	12,4	13,0	11,5	
				30	32	40				24	16,2	17,3	17,7	18,5	16,4	
0,1—0,3 0,6	900	950	956	20	22	30	947		M20	28	12,5	13,4	13,8	14,5	12,7	
				30	32	40					18,3	19,6	20,1	21,0	18,6	
0,1—0,3 0,6	1000	1060	1066	20	22	30	1052		6	28	16,5	17,7	18,1	18,9	16,8	
				30	32	40					31,4	33,6	34,6	36,0	31,8	

Продолжение табл. 21.17

P_{D1} МПа/кгс	D_e	D_{ϕ}				h	H	D	s	Болты		Типы фланцев				
		для типов								d_b	z	1	2		3	
		1	2 и 3	1,2-Б и 3-Н	2-А и 3-А								А	Б	А	Б
мм																
0,1—0,3 0,6	1100	1160	1166	20	22	30	1152	6	M20	28	Масса, кг					
				40	42	50					18,2	19,5	20,0	20,9	18,5	
0,1 0,3 0,6	1200	1260	1266	20	22	30	1252				34,6	37,0	38,0	39,6	35,1	
				30	32	40					19,7	21,2	21,6	22,7	20,2	
				40	42	50					27,5	29,4	30,1	31,5	27,9	
0,1 0,3	1300	1360	1366	20	22	30	1352				37,9	40,5	41,6	43,3	38,5	
				30	32	40					21,3	22,8	23,5	24,4	21,6	
0,1 0,3	1400	1460	1466	20	22	30	1452				31,1	33,2	34,2	35,5	31,5	
				30	32	40					22,9	24,5	25,2	26,2	23,2	
0,1 0,3	1500	1560	1566	20	22	30	1552				33,5	35,8	36,8	38,3	34,0	
				30	32	40					24,5	26,1	27,0	27,9	24,8	
0,1 0,3	1600	1660	1666	20	22	30	1652				35,9	38,4	39,6	41,1	36,4	
				30	32	40		25,3	27,1	27,8	29,0	25,7				
0,1	1700	1760	1766	20	22	30	1752	7	M20	40	38,2	41,2	42,0	44,0	39,0	
	1800	1860	1866				1852				27,7	29,6	30,1	31,7	28,1	
	1900	1960	1966				1952				29,4	31,4	32,2	33,6	29,8	
	2000	2060	2066				2052				30,9	33,1	34,0	35,4	31,4	
	2200	2260	2266				2252				44	33,5	35,8	36,8	38,4	34,0
	2400	2460	2466				2452				48	35,7	38,2	39,3	40,8	36,2
	2600	2670	2676				2657				56	39,0	41,6	42,9	44,5	39,4
	2800	2870	2876				2857				60	48,7	52,1	53,5	55,7	49,5
	3000	3070	3076				3057				64	51,4	55,0	56,5	58,8	52,3
											70	56,1	60,0	61,8	64,2	57,0

Примечания

1. Фланцы типа 1 — по МН 3963—62, типа 2 — по МН 3984—62, типа 3 — по МН 3985—62.
2. Фланцы рассчитаны на применение в соединительных мягких прокладках.
3. Материал фланцев — сталь марки, соответствующей марке свариваемой с фланцем обечайки, днища или другой детали.
4. Значения D_1 , b и b_1 : при $D_e < 900$ мм $D_1 = D + 1$ мм, $b = 10$ мм, $b_1 = 11$ мм; при $D_e \geq 1000$ мм $D_1 = D + 4$ мм, $b = 11$ мм, $b_1 = 14$ мм.
5. Для фланцев типа 3-А при $D_e \geq 1000$ мм значения D соответственно на 2 мм больше табличных.
6. Пределы применения фланцев при рабочих давлениях в зависимости от температуры среды приведены ниже.

P_{D1} МПа/кгс	Давление рабочее в МПа/кгс наибольшее при температуре среды, °С					P_{D1} МПа/кгс	Давление рабочее в МПа/кгс наибольшее при температуре среды, °С				
	<200	250	300	350	400		<200	250	300	350	400
0,1	0,1	0,1	0,09	0,08	0,07	1,0	1,0	0,95	0,9	0,8	0,7
0,3	0,3	0,3	0,27	0,24	0,2	1,6	1,6	1,5	1,4	1,25	1,0
0,6	0,6	0,6	0,55	0,46	0,4	2,5	2,5	2,4	2,1	1,95	1,8

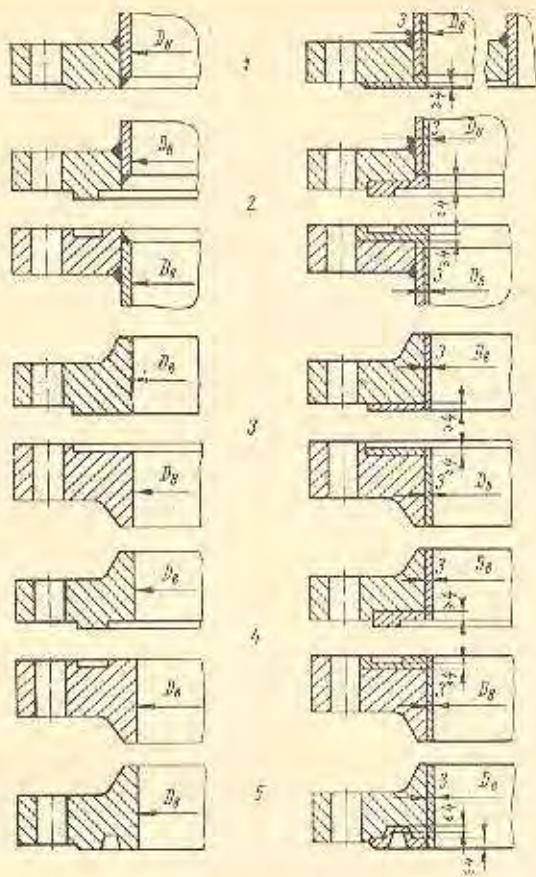


Рис. 21.5. Конструкции фланцев аппаратов (к табл. 21.12): слева — монометаллические, справа — с защитным легированным слоем

Расчет круглых наружных плоских фланцев из пластичных материалов (см. рис. 21.4, типы I и II и рис. 21.7)

Такие фланцы в основном из стали различных марок применяются преимущественно в сварной аппаратуре для $P_0 \leq 1,6 \text{ МПа}$ и $t \leq 300^\circ \text{С}$.

Расчетный наружный диаметр фланца $D'_ф$ в м (см) определяется по формуле

$$D'_ф = D_б + a, \quad (21.32)$$

где $D_б$ — диаметр болтовой окружности в м (см);

a — величина, зависящая от диаметра болтов (шпилек) и от размера «Под ключ» в гайках. Принимается по табл. 21.18 в м (см).

Расчетный диаметр фланца округляется до ближайшего большего размера $D'_ф$, оканчивающегося на 5 или 0 (в мм).

Для определения высоты плоского фланца по ОН 26-01-17/02-14 86 предварительно находят:

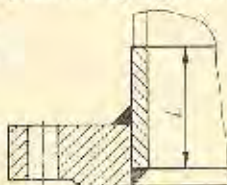


Рис. 21.6. Конструкция плоского фланца аппарата с приварной цилиндрической втулкой (горловиной)

приведенная нагрузка на фланец при затяжке соединения P_1 в Мн (кас)

$$P_1 = \frac{K}{K-1} \cdot \frac{D_б}{D_ф} \left(\frac{D_б}{D_n} - 1 \right) P'_{б1}; \quad (21.33)$$

приведенная нагрузка на фланец при рабочих условиях P_2 в Мн (кас)

$$P_2 = \frac{K}{K-1} \left[P'_{б2} \frac{D_б}{D_ф} \left(\frac{D_б}{D_n} - 1 \right) + P'_c \left(1 - \frac{D_n}{D_n} \right) \right]; \quad (21.34)$$

вспомогательная величина при затяжке соединения Φ_1 в $\text{м}^2 (\text{см}^2)$

$$\Phi_1 = \frac{P_1}{\sigma_T^{30}} \Psi_1; \quad (21.35)$$

вспомогательная величина при рабочих условиях Φ_2 в $\text{м}^2 (\text{см}^2)$

$$\Phi_2 = \frac{P_2}{\sigma_T^t} \Psi_1; \quad (21.36)$$

вспомогательная величина A в $\text{м}^2 (\text{см}^2)$

$$A = 2\Psi_2 s_1^2; \quad (21.37)$$

где $K = \frac{D_ф}{D_б}$;

Ψ_1 — коэффициент, определяется по графику рис. 21.8;

Ψ_2 — коэффициент, определяется по графику рис. 21.9;

s_1 — толщина части обечайки, соединяемой с фланцем, которая должна быть не менее толщины обечайки аппарата s в м (см).

Значения остальных величин см. выше — при расчете болтов

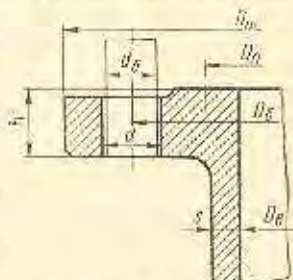


Рис. 21.7. Основные размеры дельного плоского круглого наружного фланца

Таблица 21.18

Рекомендуемые значения величины a в формуле (21.32)

$d_б, \text{мм}$	10	12	14	16	18	20	22
$a, \text{мм}$	25	30	30	35	40	40	45
$d_б, \text{мм}$	24	27	30	36	42	48	56
$a, \text{мм}$	45	50	55	70	80	90	100

В тех случаях, когда $s_1 < 0,006 \text{ м}$ и $\frac{D_б}{s_1} > 300$, высоту фланца следует определять по формулам (21.66) и (21.67).

Для дальнейших расчетов принимается большая величина Φ из (21.35) или (21.36).

Расчетная высота плоского фланца h' в м (см) определяется по формулам: при $\Phi \leq 1,134$

$$h' = 0,5 \sqrt{\Phi}; \quad (21.38)$$

$$h' = 0,27 \sqrt{D_б \Phi}. \quad (21.39)$$

За расчетную принимается большая величина; при $\Phi > 1,134$

$$h' = \sqrt{\Phi - 0,85A}; \quad (21.40)$$

$$h' = 0,43 \sqrt[3]{D_0 (\Phi - 0,85A)}. \quad (21.41)$$

За расчетную принимается большая величина.

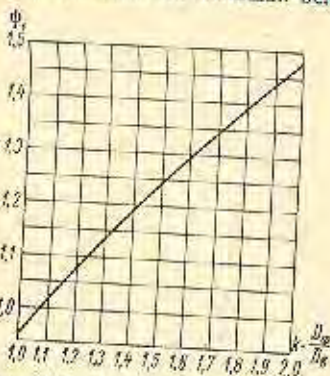


Рис. 21.8. График для определения коэффициента Φ , в формуле (21.36)

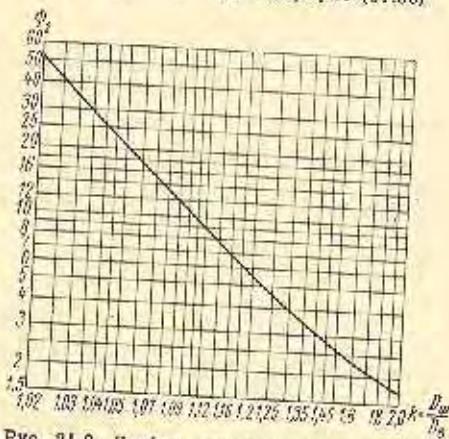


Рис. 21.9. График для определения коэффициента Φ_2 в формуле (21.37)

Расчет круглых наружных фланцев с конической горловиной из пластичных материалов (см. рис. 21.4, типы III и IV и рис. 21.10)

Такие фланцы из стали различных марок и цветных металлов и сплавов применяются в сварной, литой и ковочной аппаратуре для p_y до 100 Мн/м^2 и t_0 до 550°C .

Расчетный наружный диаметр фланца $D'_ф$ для $p_y \leq 10 \text{ Мн/м}^2$ определяется по формуле (21.32).

Толщина стенки конической горловины фланца для $p_y \leq 10 \text{ Мн/м}^2$ по ОН 26-01-17/66 должна быть:

$$s_1 \geq s, \text{ но не более } 1,3s \text{ и}$$

$$s_1 \leq s + 5 \text{ мм},$$

в месте стыка с фланцем

$$s_2 = \beta s_1, \quad (21.42)$$

где s — толщина стенки обечайки;
 s_1 — толщина стенки горловины в месте стыка с обечайкой;
 s_2 — толщина стенки горловины в месте стыка с фланцем;
 β — коэффициент, определяется по графику рис. 21.11.

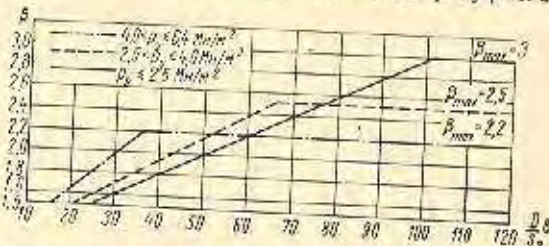


Рис. 21.11. Графики для определения коэффициента β в формуле (21.42). Для $p_y = 10 \text{ Мн/м}^2$ $\beta = 1,5$

Для определения высоты фланца с конической горловиной для $p_y \leq 10 \text{ Мн/м}^2$ по ОН 26-01-17/66 предварительно находятся:

- приведенная нагрузка на фланец при затяжке соединения P_1 по формуле (21.33);
- приведенная нагрузка на фланец при рабочих условиях P_2 по формуле (21.34);
- вспомогательная величина Φ_1 — по формуле (21.35);
- вспомогательная величина Φ_2 — по формуле (21.36);
- вспомогательная величина A — по формуле (21.37).

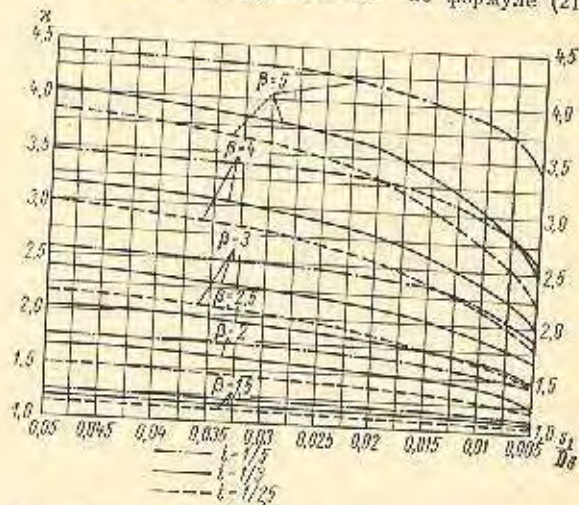


Рис. 21.12. Графики для определения коэффициента κ в формуле (21.43). i — уклон горловины

в которой вместо s_1 подставляется эквивалентная толщина стенки горловины, определяемая по формуле

$$s_2 = \kappa s_1, \quad (21.43)$$

где κ — коэффициент, определяется по графику рис. 21.12. Уклон горловины принимается $i = 1 : 3$. Для дальнейших расчетов величина Φ принимается большая из (21.35) и (21.36).

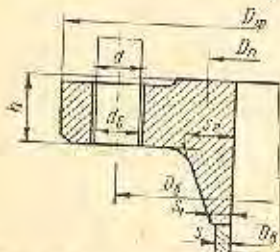


Рис. 21.10. Основные размеры дельного круглого наружного фланца с конической горловиной

Расчетная высота фланца с конической горловиной h' в м (см) определяется:
при $\Phi \leq 1,134$ — по формулам (21.38) и

$$h' = 0,28 \sqrt[3]{D_o \Phi}, \quad (21.44)$$

за расчетную принимается большая величина;
при $\Phi > 1,134$ — по формулам (21.40) и

$$h' = 0,45 \sqrt[3]{D_o (\Phi - 0,85A)}, \quad (21.45)$$

за расчетную принимается большая величина.

Расчетный наружный диаметр фланца D'_ϕ в м (см) для $p_y > 10 \text{ Мн/м}^2$ (рис. 21.13) определяется по формуле [163]

$$D'_\phi \geq D_\phi + 1,8d_\phi \quad (21.46)$$

Размеры таких фланцев выбираются конструктивно, согласно рис. 21.13.

Условие прочности фланца на изгиб в диаметральной сечении проверяется по формуле

$$\frac{P'_\phi (D_\phi - D_n)}{2\pi W} \leq \sigma_{из}, \quad (21.47)$$

где P'_ϕ — расчетная боковая нагрузка в Мн (кгс);

W — момент сопротивления диаметрального сечения фланца относительно оси, проходящей через центр тяжести сечения фланца (вычисляется для заштрихованной площади до цилиндрической части обечайки) в м³ (см³);

D_n — средний диаметр уплотнения в м (см).

Пример 21.5. Определить основные размеры цельноконического фланца с конической горловиной к примерам 20.2 и 21.2 по следующим данным: материал фланца — сталь марки Х18Н10Т ($\sigma_T^{20} = 220 \text{ Мн/м}^2$); толщина обечайки $s = 14 \text{ мм}$; болты с нормальными шестигранными гайками.

Из примеров 20.2 и 21.2 имеем: $D_n = 1,097 \text{ м}$; $b_\phi = 0,017 \text{ м}$; $P'_n = 0,439 \text{ Мн}$; $P'_c = 2,825 \text{ Мн}$; $P'_{\phi 1} = 4,539 \text{ Мн}$; $P'_{\phi 2} = 3,264 \text{ Мн}$; $D_\phi = 1,17 \text{ м}$; $d_\phi = 42 \text{ мм}$; $z = 36$.

Из табл. 21.18 для болтов М12 находим величину $\alpha = 0,08 \text{ м}$.

Расчетный наружный диаметр фланца определяем по формуле (21.32)

$$D'_\phi = D_\phi + \alpha = 1,17 + 0,08 = 1,25 \text{ м},$$

который и принимаем.

Определим размеры горловины фланца.

Примем толщину стенки горловины в месте стыка ее с обечайкой $s_1 = 15 \text{ мм} > s = 14 \text{ мм}$.

Отношение $\frac{D_\phi}{s_1} = \frac{1000}{15} = 66,7$, для которого в $p = 3 \text{ Мн/м}^2$, определяем по графику рис. 21.11 величину коэффициента $\beta = 2,5$.

Толщину стенки горловины в месте стыка ее с фланцем определяем по формуле (21.42)

$$s_2 = \beta s_1 = 2,5 \cdot 15 = 37,5 \text{ мм}.$$

Уклон конуса горловины принимаем $i = 1 : 3$.

Для определения толщины фланца предварительно

находим: $K = \frac{D_\phi}{D_o} = \frac{1,25}{1,0} = 1,25$; по графику рис. 21.8

$\psi_1 = 1,11$; по графику рис. 21.9 $\psi_2 = 4,6$; по графику рис. 21.12 — для $\beta = 2,5$ и $i = 1,3$ — $\kappa = 1,75$; по формуле (21.43) $s_3 = \kappa s_1 = 1,75 \cdot 15 = 26,3 \text{ мм}$;

приведенную нагрузку на фланец при затяжке соединения — по формуле (21.33)

$$P_1 = \frac{K}{K-1} \cdot \frac{D_o}{D_\phi} \left(\frac{D_\phi}{D_n} - 1 \right) P'_{\phi 1} = \\ = \frac{1,25}{1,25-1} \cdot \frac{1,0}{1,17} \left(\frac{1,17}{1,097} - 1 \right) 4,539 = \\ = 1,26 \text{ Мн (126 000 кгс)}$$

приведенную нагрузку на фланец при рабочих условиях — по формуле (21.34)

$$P_2 = \frac{K}{K-1} \left[P'_{\phi 2} \frac{D_o}{D_\phi} \left(\frac{D_\phi}{D_n} - 1 \right) + P'_c \left(1 - \frac{D_n}{D_n} \right) \right] = \\ = \frac{1,25}{1,25-1} \left[3,264 \frac{1,0}{1,17} \left(\frac{1,17}{1,097} - 1 \right) + \right. \\ \left. + 2,825 \left(1 - \frac{1,0}{1,097} \right) \right] = 2,135 \text{ Мн (213 500 кгс)}$$

вспомогательную величину — по формуле (21.35)

$$\Phi_1 = \frac{P_1}{\sigma_T^{20}} \psi_1 = \frac{1,26}{220} 1,11 = 0,00636 \text{ м}^2 (63,6 \text{ см}^2);$$

вспомогательную величину — по формуле (21.36)

$$\Phi_2 = \frac{P_2}{\sigma_T^{20}} \psi_1^* = \frac{2,135}{220} 1,11 = 0,01075 \text{ м}^2 (107,5 \text{ см}^2);$$

вспомогательную величину — по формуле (21.37)

$$A = 2\sqrt{2} s_3^2 = 2 \cdot 4,6 \cdot 0,0263^2 = 0,00636 \text{ м}^2 (63,6 \text{ см}^2).$$

Поскольку $\Phi_2 = 0,01075 > \Phi_1 = 0,00636$, в дальнейших расчетах принимаем величину $\Phi = \Phi_2$.

Определим значение величины $1,13A = 1,13 \cdot 0,00636 = 0,0072 \text{ м}^2 (72 \text{ см}^2)$.

Поскольку $\Phi = 0,01075 > 1,13A = 0,0072$, расчетную высоту фланца определяем соответственно по формулам (21.40) и (21.45):

$$h' = \sqrt{\Phi - 0,85A} = \sqrt{0,01075 - 0,85 \cdot 0,00636} = 0,073 \text{ м};$$

$$h' = 0,45 \sqrt[3]{D_o (\Phi - 0,85A)} =$$

$$= 0,45 \sqrt[3]{1,0 (0,01075 - 0,85 \cdot 0,00636)} = 0,0785 \text{ м}.$$

Принимаем $h = 78 \text{ мм}$.

Расчет круглых наружных фланцев из хрупких материалов (см. рис. 21.4, тип V и рис. 21.10)

Такие фланцы из чугуна, бронзы и других хрупких материалов применяются в основном в литой аппаратуре для p_n до $1,6 \text{ Мн/м}^2$ и t_c до 300° С .

* В формуле (21.36) для данного примера при $t_c = -190^\circ \text{ С}$ вместо σ_T^t подставляются σ_T^{20} , величина которой меньше первой.

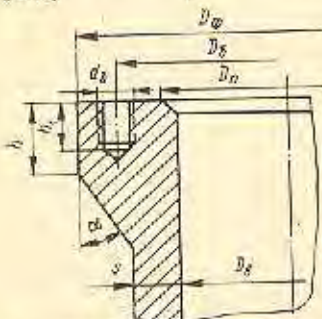


Рис. 21.13. Основные размеры цельноконического фланца (при сварного или заодно с корпусом аппарата) для $p_y > 10 \text{ Мн/м}^2$.
 $h = h_1 + 0,5 d_\phi$ при $\alpha = 30^\circ$;
 $h = 2h_1 + d_\phi$ при $\alpha = 45^\circ$

$$D'_\phi \geq D_\phi + 1,8d_\phi \quad (21.46)$$

Размеры таких фланцев выбираются конструктивно, согласно рис. 21.13.

Условие прочности фланца на изгиб в диаметральной сечении проверяется по формуле

$$\frac{P'_\phi (D_\phi - D_n)}{2\pi W} \leq \sigma_{из}, \quad (21.47)$$

где P'_ϕ — расчетная боковая нагрузка в Мн (кгс);

W — момент сопротивления диаметрального сечения фланца относительно оси, проходящей через центр тяжести сечения фланца (вычисляется для заштрихованной площади до цилиндрической части обечайки) в м³ (см³);

D_n — средний диаметр уплотнения в м (см).

Пример 21.5. Определить основные размеры цельноконического фланца с конической горловиной к примерам 20.2 и 21.2 по следующим данным: материал фланца — сталь марки Х18Н10Т ($\sigma_T^{20} = 220 \text{ Мн/м}^2$); толщина обечайки $s = 14 \text{ мм}$; болты с нормальными шестигранными гайками.

Из примеров 20.2 и 21.2 имеем: $D_n = 1,097 \text{ м}$; $b_\phi = 0,017 \text{ м}$; $P'_n = 0,439 \text{ Мн}$; $P'_c = 2,825 \text{ Мн}$; $P'_{\phi 1} = 4,539 \text{ Мн}$; $P'_{\phi 2} = 3,264 \text{ Мн}$; $D_\phi = 1,17 \text{ м}$; $d_\phi = 42 \text{ мм}$; $z = 36$.

Из табл. 21.18 для болтов М12 находим величину $\alpha = 0,08 \text{ м}$.

Расчетный наружный диаметр фланца определяем по формуле (21.32)

$$D'_\phi = D_\phi + \alpha = 1,17 + 0,08 = 1,25 \text{ м},$$

который и принимаем.

Определим размеры горловины фланца.

Примем толщину стенки горловины в месте стыка ее с обечайкой $s_1 = 15 \text{ мм} > s = 14 \text{ мм}$.

Отношение $\frac{D_\phi}{s_1} = \frac{1000}{15} = 66,7$, для которого в $p = 3 \text{ Мн/м}^2$, определяем по графику рис. 21.11 величину коэффициента $\beta = 2,5$.

Толщину стенки горловины в месте стыка ее с фланцем определяем по формуле (21.42)

$$s_2 = \beta s_1 = 2,5 \cdot 15 = 37,5 \text{ мм}.$$

Фланцы из хрупких материалов, как правило, должны иметь коническую горловину с рекомендуемым уклоном конуса 1 : 5.

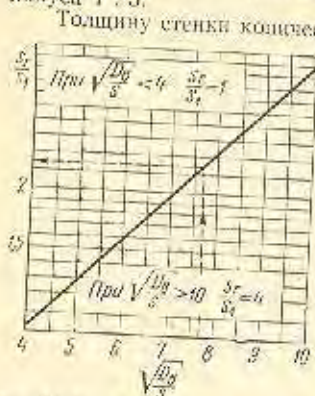


Рис. 21.14. График для определения толщины конической горловины во фланцах

Толщину стенки конической горловины в месте стыка ее с фланцем рекомендуется определять по графику рис. 21.14.

Расчетный наружный диаметр фланца $D'_ф$ определяется по формуле (21.32).

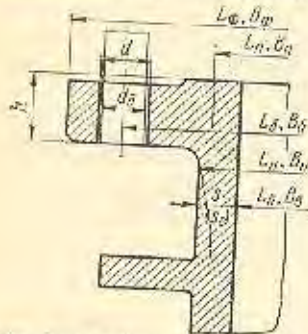
Расчетную высоту фланца h' в мм (см), рассматривая его упрощенно как консольную балку шириной $0,5(D_2 + D_n)$, равномерно нагруженную силой $P'_б$ по болтовой окружности $D_б$, рекомендуется определять по формуле

$$h' = 1,38 \sqrt{\frac{P'_б [D_б - 0,5(D_2 + D_n)] z}{(D_2 + D_n) \sigma_{из} z'}} \quad (21.48)$$

- где D_2 — диаметр горловины в мм (см);
 D_n — средний диаметр уплотнения в мм (см);
 $D_б$ — диаметр болтовой окружности в мм (см);
 z' и z — расчетное и принятое количество болтов;
 $\sigma_{из}$ — допускаемое напряжение на изгиб для материала фланца в $Мн/м^2$ ($кгс/см^2$);
 $P'_б$ — расчетное растягивающее усилие в болтах в $Мн$ ($кгс$).

Расчет прямоугольных наружных фланцев (см. рис. 21.4, типы Г и У и рис. 21.15)

Такие фланцы из стали различных марок, цветных металлов и сплавов, а также чугуна и других хрупких материалов применяются в сварной и литой аппаратуре для p_n до $2,5 Мн/м^2$ и t_c до $300^\circ C$.



Литые фланцы, как правило, должны иметь утолщение горловины по типу конической горловины у круглых фланцев. При этом величину утолщения рекомендуется принимать аналогично круглым фланцам, считая

$$D_б \approx \frac{L_б + B_б}{2}$$

Для ужесточения тонких плоских стенок коробчатой обечайки на ней рекомендуется размещать

снаружи в непосредственной близости от фланца параллельно ему ребро (рис. 21.15).

Расчетные наружные размеры фланца $L'_ф$ и $B'_ф$ в мм (см) определяются по формулам:

$$L'_ф = L_б + a \quad \text{и} \quad B'_ф = B_б + a \quad (21.49)$$

- где $L_б$ и $B_б$ — расстояния между крайними осями болтов в продольном и поперечном направлениях фланца в мм (см);
 a — принимается по табл. 21.18 в мм (см).

Расчетную высоту фланца h' в мм (см), рассматривая его упрощенно как консольную балку шириной $L_б + L_n + B_б + B_n$, равномерно нагруженную силой $P'_б$ по болтовому диаметру $2(L_б + B_б)$, рекомендуется определять при условии достаточной жесткости плоских стенок образующих коробчатую обечайку, по формуле

$$h' = 2,45 \sqrt{\frac{P'_б l z}{(L_б + B_б + L_n + B_n) \sigma_{из} z'}} \quad (21.50)$$

- где l — плечо изгибающего момента в мм (см);
 $L_б$ и $B_б$ — размеры горловины в мм (см);
 L_n и B_n — средние размеры уплотнения в мм (см);
 z' и z — расчетное и принятое количество болтов;
 $\sigma_{из}$ — допускаемое напряжение на изгиб для материала фланца в $Мн/м^2$ ($кгс/см^2$);
 $P'_б$ — расчетное растягивающее усилие в болтах в $Мн$ ($кгс$).

Плечо изгибающего момента l в мм (см) определяется по формуле

$$l = \frac{L_б - 0,5(L_б + L_n)}{2} - \frac{B_б - 0,5(B_б + B_n)}{2} \quad (21.51)$$

Учитывая неравномерную нагрузку на болты в прямоугольном фланце, а также приближенный характер формулы (21.50), рекомендуется расчетную толщину фланца h' увеличивать не менее чем в 1,5 раза.

Пример 21.6. Определить основные размеры цельного прямоугольного наружного фланца (см. рис. 21.4, тип Г) к примерам 20.1 и 21.1 по следующим данным: материал фланца — сталь ($\sigma_{из} = 140 Мн/м^2$); плоские стенки коробчатой обечайки достаточно жесткие.

Из примеров 20.1 и 21.1 имеем: $L = L_б = 0,624 м$; $B = B_б = 0,424 м$; $L_n \times B_n = 0,82 \times 0,42 м^2$; $L_г = 0,664 м$; $B_г = 0,464 м$; $P'_б = 0,0425 Мн$; $d_б = 12 мм$; $z' = 11,5$; $z = 38$.

Плечо изгибающего момента определяем по формуле (21.51)

$$l = \frac{L_б - 0,5(L_б + L_n)}{2} = \frac{0,664 - 0,5(0,624 + 0,62)}{2} = 0,021 м$$

Расчетную высоту фланца определяем по формуле (21.50)

$$h' = 2,45 \sqrt{\frac{P'_б l z}{(L_б + B_б + L_n + B_n) \sigma_{из} z'}} = 2,45 \sqrt{\frac{0,0425 \cdot 0,021 \cdot 38}{(0,624 + 0,424 + 0,82 + 0,42) 140 \cdot 11,5}} = 0,0078 м$$

С учетом увеличения расчетной высоты не менее чем в 1,5 раза, а также конструктивных соображений, принимаем $h = 14 мм$.

Расчетные наружные размеры фланца при величине $a = 0,03 м$ (по табл. 21.18) определяем по формулам (21.49):

$$L'_ф = L_б + a = 0,664 + 0,03 = 0,694 м;$$

$$B'_ф = B_б + a = 0,464 + 0,03 = 0,494 м.$$

Принимаем $L_ф = 694 мм$ и $B_ф = 494 мм$.

Расчет круглых внутренних фланцев
(см. рис. 21.4, типы VI и VII и рис. 21.16)

Такие фланцы из различных марок стали, цветных металлов и сплавов, а также чугуна и других хрупких материалов применяются в сварной и литой аппаратуре для p_c до $2,5 \text{ МПа/м}^2$ и t_c до 300°С .

Приварные остки и литые фланцы, как правило, должны иметь коническую горловину (рис. 21.16). Толщину стенки конической горловины в месте стыка ее с фланцем s_2 рекомендуется определять по графику рис. 21.14.

Расчетный внутренний диаметр фланца D'_a определяется по формуле

$$D'_a = D_B - a \text{ м (см)}, \quad (21.52)$$

где a — принимается по табл. 21.18 в м (см).

Значение D'_a округляется в меньшую сторону до ближайшего размера, оканчивающегося на 5 или 0 (в мм).

Расчетную высоту фланца h' в м (см) рекомендуется определять по двум формулам:

от затяжки болтами (шпильками), рассматривая фланец упрощенно как консольную балку шириной $2D_n$, равномерно нагруженную силой P'_B по болтовой окружности D_B

$$h' = 0,978 \sqrt{\frac{P'_B (D_n - D_B) z}{D_n \sigma_{уд} z'}}; \quad (21.53)$$

от давления среды в аппарате, рассматривая фланец упрощенно как консольную балку шириной $2D_n$, равномерно нагруженную силой P'_c по средней окружности уплотнения D_n

$$h' = 0,978 \sqrt{\frac{P'_c (D_n - D_n) z}{D_n \sigma_{уд} z'}}; \quad (21.54)$$

- где D_B — диаметр болтовой окружности в м (см);
 D_n — средний диаметр уплотнения в м (см);
 D_a — внутренний диаметр аппарата в м (см);
 P'_B — расчетное растягивающее усилие в болтах в Мн (кгс);
 P'_c — расчетная нагрузка от давления среды в аппарате в Мн (кгс);
 z' и z — расчетное и принятое количество болтов (шпильек).

Расчетная нагрузка от давления среды в аппарате P'_c в Мн (кгс) определяется по формуле

$$P'_c = \frac{\pi}{4} D_{nn}^2 p, \quad (21.55)$$

- где D_{nn} — наружный диаметр уплотнения в м (см);
 p — расчетное давление среды в аппарате в МПа/м^2 (кгс/см^2).

Окончательно за расчетное принимается большее значение h' из (21.53) или (21.54). Причем, учитывая неравномерную нагрузку на болты в прямоугольном фланце, а также приближенный характер формул, рекомендуется h' увеличивать не менее чем в 1,5 раза.

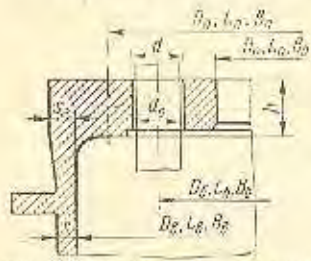


Рис. 21.16. Основные размеры цельного (круглого и прямоугольного) внутреннего фланца

Расчет прямоугольных внутренних фланцев
(см. рис. 21.4, типы VI и VII и рис. 21.16)

Такие фланцы из различных марок стали, цветных металлов и сплавов, а также чугуна и других хрупких материалов применяются в сварной и литой аппаратуре для p_c до $2,5 \text{ МПа/м}^2$ и t_c до 300°С .

Приварные остки и литые фланцы, как правило, должны иметь утолщение горловины по типу конической горловины у круглых фланцев. При этом величину утолщения рекомендуется принимать аналогично круглым фланцам, считая $D_B \approx \frac{L_B + B_B}{2}$.

Для ужесточения тонких плоских стенок коробчатой обечайки на ней рекомендуется размещать снаружи в непосредственной близости от фланца параллельно ему кольцевое ребро (рис. 21.16).

Расчетные внутренние размеры фланца L'_a и B'_a в м (см) определяются по формулам:

$$L'_a = L_a - a \text{ и } B'_a = B_a - a, \quad (21.56)$$

где значения величины те же, что и в (21.49).

Расчетную высоту фланца h' в м (см) рекомендуется определять по двум формулам:

от затяжки болтами (шпильками), рассматривая фланец упрощенно как консольную балку шириной $2(L_n + B_n)$, равномерно нагруженную силой P'_B по болтовой окружности $2(L_B + B_B)$

$$h' = 1,73 \sqrt{\frac{P'_B l z}{(L_n + B_n) \sigma_{уд} z'}}; \quad (21.57)$$

от давления среды в аппарате, рассматривая фланец упрощенно как консольную балку шириной $2(L_n + B_n)$, равномерно нагруженную силой P'_c по средней линии уплотнения $2(L_n + B_n)$

$$h' = 1,73 \sqrt{\frac{P'_c l_1 z}{(L_n + B_n) \sigma_{уд} z'}}; \quad (21.58)$$

- где l и l_1 — плечи изгибающих моментов в м (см);
 L_a и B_a — внутренние размеры коробчатой обечайки в м (см);
 L_n и B_n — средние размеры уплотнения в м (см);
 P'_B и P'_c — действующие на фланец силы в Мн (кгс);
 $\sigma_{уд}$ — допускаемое напряжение на изгиб для материала фланца в МПа/м^2 (кгс/см^2);
 z' и z — расчетное и принятое количество болтов (шпильек).

Плечи изгибающих моментов l и l_1 в м (см) определяются по формулам:

$$l = \frac{L_n - L_B}{2} = \frac{B_n - B_B}{2}; \quad (21.59)$$

$$l_1 = \frac{L_n - L_n}{2} = \frac{B_n - B_n}{2}. \quad (21.60)$$

Расчетная нагрузка от давления среды в аппарате P'_c в Мн (кгс) определяется по формуле

$$P'_c = L_{nn} B_{nn} p, \quad (21.61)$$

- где L_{nn} и B_{nn} — наружные размеры уплотнения в м (см);
 p — расчетное давление среды в аппарате в МПа/м^2 (кгс/см^2).

Окончательно за расчетное принимается большее значение M из (21.57) или (21.58). Причем, учитывая неравномерную нагрузку на болты в прямоугольном фланце, а также приближенный характер формул, рекомендуется h' увеличивать не менее чем в 1,5 раза.

21.3. СВОБОДНЫЕ ФЛАНЦЫ

Основные типовые конструкции свободных фланцев, применяемых в химическом аппаростроении, показаны на рис. 21.17.

В табл. 21.19—21.21 приведены основные данные о стандартизованных и нормализованных свободных фланцах.

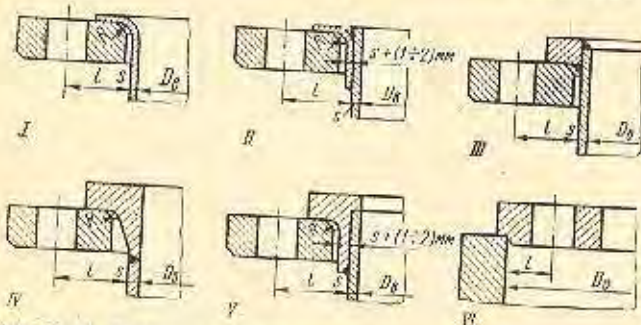


Рис. 21.17. Основные типовые конструкции свободных фланцев, применяемых в химическом аппаростроении: I — при $p_c \leq 0,6 \text{ Мн/м}^2$ на отбортовке из пластичных материалов; II — при $p_c \leq 0,8 \text{ Мн/м}^2$ и $s \leq 15 \text{ мм}$ на меди и латуни на приварном бурте из стали; III — при $p_c \leq 0,6 \text{ Мн/м}^2$ на приварном бурте из стали; IV — при $p_c \geq 2,5$ до 20 Мн/м^2 на приварном бурте из стали и при $p_c \leq 1 \text{ Мн/м}^2$ — на приварном бурте из алюминиевых сплавов; V — при $p_c \geq 0,6$ до 5 Мн/м^2 на приварном бурте из латуни; VI — на цилиндрической опорной поверхности

На рис. 21.18 показана конструкция соединения труб из кварцевого стекла с помощью свободных фланцев. Обтяжка в соединении достигается сжатием сферических притертых поверхностей, имеющих на концевиках

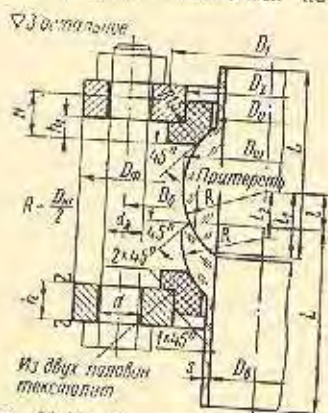


Рис. 21.18. Конструкция соединения кварцевых труб с помощью свободных фланцев

труб. Основные данные о таких соединениях приведены в табл. 21.22.

Материал бурта в соединениях со свободными фланцами обычно соответствует материалу соединяемых частей или может быть более прочным. Материал свободного

фланца по прочности должен быть не ниже прочности материала бурта.

Расчетная температура принимается: для бурта — равной температуре среды t_c , для свободного фланца — $0,97t_c$.

Расчет круглых наружных свободных фланцев (рис. 21.17, типы I—V и рис. 21.19)

Такие фланцы преимущественно из различных марок стали применяются в сварной и паяной аппаратуре для p_D до 20 Мн/м^2 и t_c до 300°C .

Расчетный наружный диаметр фланца D'_f определяется по формуле (21.32).

Расчетный внутренний диаметр фланца D'_s в мм (см) рекомендуется принимать:

при $D_D \leq 50 \text{ мм}$

$$D'_s = D_0 + 2s_s + 0,003 (0,3); \quad (21.62)$$

при $D_D > 50 \text{ мм}$

$$D'_s = D_0 + 2s_s + 0,006 (0,6). \quad (21.63)$$

Полученные значения округляются до ближайших больших размеров, в первом случае — меньших, а во втором — оканчивающихся на 5 и 0 (в мм).

Расчетный наружный диаметр бурта D'_2 в мм (см) необходимо определять из условия отсутствия остаточных деформаций смятия на соприкасающихся поверхностях бурта и фланца

$$\frac{P'_0}{0,785 [(D'_2)^2 - D_0^2]} \leq \frac{\sigma_T}{1,1},$$

или после преобразования и решения данного неравенства относительно D'_2

$$D'_2 \geq 1,18 \sqrt{\frac{P'_0}{\sigma_T} + D_0^2}, \quad (21.64)$$

где P'_0 — расчетное растягивающее усилие в болтах в Мн (кгс);

σ_T — предел текучести более мягкого материала бурта или фланца при рабочей температуре в Мн/м^2 (кгс/см 2).

Окончательно диаметр бурта принимается не менее наружного диаметра уплотнения в соединении.

Для определения высоты свободного фланца по ОН 28 01-17 66 предварительно находят:

приведенная нагрузка на фланец при затяжке соединения P_1 по формуле (21.33), в которой вместо D_0 подставляется D_0 , а вместо D_D подставляется D_2 ;

приведенная нагрузка на фланец при рабочих условиях — по формуле

$$P_2 = \frac{K}{K-1} \cdot \frac{D_0}{D_6} \left(\frac{D_6}{D_2} - 1 \right) P_{02}, \quad (21.65)$$

где $K = \frac{D_f}{D_0}$;

P_1 — вспомогательная величина при затяжке соединения по формуле (21.35);

P_2 — вспомогательная величина при рабочих условиях по формуле (21.36).

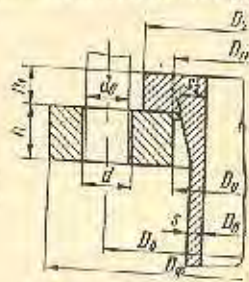
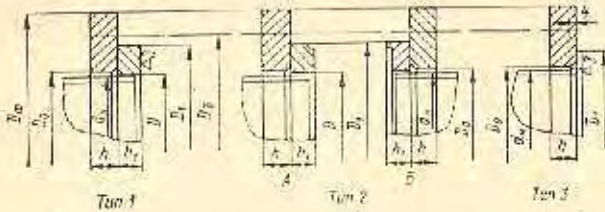


Рис. 21.19. Основные размеры свободного круглого наружного фланца с буртом

Таблица 21.19

Продолжение табл. 21.19

Фланцы стальные свободные для трубопроводов
(по ГОСТам 1268—67, 12834—67, 1272—67)



ρ_{fl} , МПа/М²	D_g	D_v	D	k	h_1	Фланец	Кольцо для типов		
							2		
							1	А	Б
мм							Масса, кг		
0,6	10	16	15	10	8	0,29	0,05	0,04	0,04
1,0				12	10	0,32	0,09	0,08	0,07
1,6				14	12	0,64	0,10	0,09	0,08
2,5				16	14	0,69	0,12	0,11	0,10
0,6	15	20	19	10	8	0,33	0,05	0,05	0,05
1,0				12	10	0,58	0,11	0,09	0,08
1,6				14	12	0,67	0,13	0,11	0,10
2,5				16	14	0,77	0,15	0,14	0,12
0,6	20	27	26	10	10	0,41	0,12	0,10	0,09
1,0				14	12	0,82	0,20	0,18	0,17
1,6				16	14	0,93	0,24	0,22	0,20
2,5				18	16	1,05	0,27	0,24	0,23
0,6	25	34	33	12	10	0,60	0,16	0,13	0,13
1,0				14	12	0,96	0,27	0,23	0,22
1,6				16	14	1,10	0,31	0,28	0,28
2,5				18	16	1,24	0,36	0,32	0,31
0,6	32	41	39	12	10	0,87	0,21	0,18	0,17
1,0				16	12	1,49	0,34	0,30	0,29
1,6				18	16	1,68	0,46	0,41	0,39
2,5				20	18	1,87	0,46	0,40	0,39
0,6	40	48	46	12	10	1,01	0,27	0,23	0,22
1,0				18	12	1,92	0,42	0,37	0,35
1,6				20	16	2,13	0,56	0,51	0,49
2,5				22	18	2,35	0,63	0,58	0,57
0,6	50	61	59	12	12	1,11	0,35	0,32	0,30
1,0				18	14	2,29	0,62	0,56	0,54
1,6				20	16	2,54	0,71	0,64	0,62
2,5				22	18	2,79	0,79	0,72	0,71

ρ_{fl} , МПа/М²	D_g	D_v	D	k	h_1	Фланец	Кольцо для типов		
							2		
							1	А	Б
мм							Масса, кг		
0,6	65	80	78	14	14	1,55	0,55	0,49	0,48
1,0				20	16	3,01	0,90	0,82	0,78
1,6				22	18	3,31	1,01	0,94	0,93
2,5				24	20	3,43	1,12	1,05	1,01
0,6	80	93	91	14	14	2,05	0,73	0,65	0,63
1,0				22	16	3,77	1,10	0,98	0,97
1,6				24	18	4,11	1,23	1,12	1,10
2,5				26	20	4,25	1,37	1,26	1,25
0,6	100	113	110	14	14	2,38	0,88	0,81	0,75
1,0				24	16	4,55	1,31	1,24	1,11
1,6				26	20	4,93	1,64	1,57	1,51
2,5				28	22	5,19	1,95	1,88	1,78
0,6	125	138	135	14	14	2,84	1,21	1,11	1,02
1,0				26	18	5,09	1,96	1,84	1,71
1,6				28	20	5,56	2,18	2,06	2,04
2,5				30	24	5,82	2,61	2,50	2,37
0,6	150	164	161	16	16	3,72	1,53	1,43	1,32
1,0				26	18	7,50	2,16	2,09	1,88
1,6				28	22	8,09	2,87	2,58	2,52
2,5				30	24	10,5	3,29	3,12	2,99
0,6	200	225	222	18	18	4,93	2,06	1,95	1,80
1,0				26	20	9,02	2,94	2,83	2,58
1,6				28	22	9,36	3,24	3,12	3,00
2,5				30	24	12,6	4,34	4,15	4,03
0,6	250	279	273	20	18	6,36	2,53	2,40	2,20
1,0				28	22	11,3	3,78	3,66	3,35
1,6				30	24	13,9	4,12	4,00	3,69
2,5				32	26	17,7	6,04	5,68	5,61
0,6	300	331	325	24	20	10,4	3,40	3,20	2,87
1,0				30	22	13,9	4,24	4,06	3,58
1,6				32	24	17,9	5,51	5,17	4,85
2,5				34	26	22,8	7,45	6,82	6,79

Продолжение табл. 21.19

$p_{\text{р}}, \text{Мн/м}^2$	$D_{\text{в}}$	$D_{\text{ф}}$	D	h	h_1	Фланец	Кольцо для типов		
							1	2	
								A	B
мм							Масса, кг		
0,6	350	383	377	28	20	13,5	3,71	3,49	3,13
1,0				32	24	18,0	6,38	6,09	5,44
1,6				34	26	22,8	7,97	7,52	7,08
2,5				38	28	31,7	10,4	9,64	9,54
0,6	400	433	426	32	24	17,0	5,14	4,89	4,47
1,0				34	26	21,4	8,15	8,43	7,08
1,6				36	28	29,08	10,1	9,62	9,05
2,5				42	30	42,5	13,6	12,6	12,6

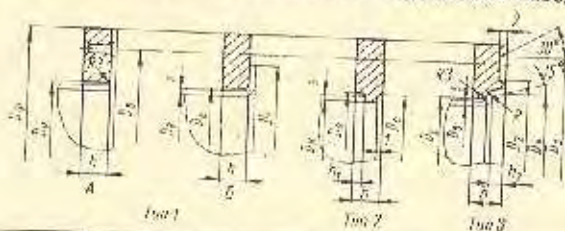
Продолжение табл. 21.19

$p_{\text{р}}, \text{Мн/м}^2$	$D_{\text{в}}$	$D_{\text{ф}}$	D	h	h_1	Фланец	Кольцо для типов		
							1	2	
								A	B
мм							Масса, кг		
0,6	500	537	530	38	26	25,4	7,05	6,73	6,10
1,0				42	28	33,3	10,6	10,2	9,33
1,6				42	30	49,3	16,9	15,6	15,6
2,5				50	32	64,6	19,2	17,7	17,9

Примечания:
 1. Пределы применения фланцев: по температуре среды $t_c \leq 300^\circ \text{C}$; по давлению — типы 1 и 2 $p_{\text{р}} \leq 2,5 \text{ Мн/м}^2$, тип 3 $p_{\text{р}} \leq 0,6 \text{ Мн/м}^2$.
 2. Материал: фланцев — сталь марок Ст.4сп и Ст.5сп; колец — сталь марок ВМ Ст.3сп и ВК Ст.3сп; болтов (шпилек) — сталь марок 20 и 25; гаек — сталь марок 10 и 30.
 3. Размеры $D_{\text{ф}}$, $D_{\text{в}}$, D_1 , $d_{\text{в}}$, а также диаметр болтов $d_{\text{б}}$ и их количество z — см. в табл. 21.9.
 4. Размеры уплотнительных поверхностей на кольцах фланцев типа 2 — см. в табл. 20.3.
 5. Фланцы рассчитаны на применение в соединительных мягких или металлических с мягкой набивкой прокладок.

Фланцы медных аппаратов стальные (по данным тамбовского завода «Комсомолец»)

Таблица 21.20



$p_{\text{р}}, \text{Мн/м}^2$	$D_{\text{в}}$	$D_{\text{ф}}$	$D_{\text{б}}$	D_1	D_2	D_3	D_4	h		h_1	h_2	Количество болтов, z	
								для типов					
								1 и 2	3				
мм													
0,1—0,6 1,0	300	410	368	345	398	348	335	18	30	9	12	14	
								20	—	10	—	20	
0,1—0,3 0,6 1,0	400	510	468	445	498	448	435	18	30	9	12	18	
		530	478		—	—	—		—	10	—	20	
					22	—	11		—	—			
0,1—0,3 0,6 1,0	500	610	568	545	598	548	535	18	30	9	12	22	
		630	578		—	—	—		—	—	11	—	24
					22	—	—		—	—			
0,1 0,3 0,6 1,0	600	710	668	645	698	648	635	18	30	9	14	26	
		730	678		—	—	—		—	—	—	—	28
					25	—	12		—	—			

Продолжение табл. 31.20

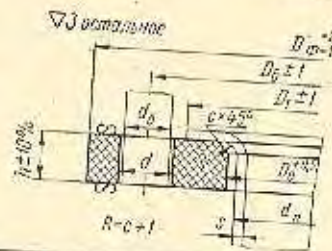
p_y , Мн/м ²	D_e	D_ϕ	D_G	D_1	D_2	D_3	D_4	h		h_1	h_2	Количество болтов, z	
								для типов					
								1 и 2	3				
<i>мм</i>													
0,1	700	810	768	745	798	748	735	18	32	9	14	30	
0,3									20		34		16
0,6		830	778		—	—	—	—	25	—	12	—	32
1,0		840	785		—	—	—	—	30	—	15	—	34
0,1	800	910	868	845	898	848	835	18	32	9	14	36	
0,3									20		36		16
0,6		930	878		—	—	—	—	28	—	14	—	40
1,0		960	895		—	—	—	—	32	—	16	—	40
0,1	900	1010	968	945	998	948	935	18	32	9	14	38	
0,3									20		38		16
0,6		1030	978		—	—	—	—	28	—	14	—	40
1,0		1060	995		—	—	—	—	36	—	18	—	44
0,1	1000	1115	1072	1050	1103	1052	1039	20	32	9	14	40	
0,3									40		10		19
0,6		1135	1082		—	—	—	—	30	—	15	—	44
1,0		1185	1115		—	—	—	—	40	—	20	—	56
0,1	1100			1160	1223	1158	1144	20	34	10	14	44	
0,3									25		—		12
0,6		1235	1182		—	—	—	—	30	—	15	—	48
1,0		1285	1215		—	—	—	—	40	—	20	—	64
0,1	1200			1260	1323	1258	1244	20	34	10	14	44	
0,3									25		—		12
0,6		1340	1285		—	—	—	—	30	—	15	—	52
1,0		1385	1315		—	—	—	—	40	—	20	—	72
0,1	1300	1435	1382	1360	—	—	—	20	10	—	—	48	
	1400	1535	1482	1460	—	—	—					52	
	1500	1635	1582	1560	—	—	—					56	
	1600	1735	1682	1660	—	—	—					60	
	1800	1935	1884	1860	—	—	—					68	
	2000	2195	2084	2060	—	—	—	76					

Примечания:

1. Пределы применения фланцев: по температуре среды — от минус 40 до плюс 250° С; по давлению — типы 1 и 2 $p_y \leq 1,0$ Мн/м², тип 3 $p_y \leq 0,3$ Мн/м².
2. Материал: фланцев — сталь марки ВМ Ст.Зен, болтов — сталь марок 20 и 25, гаек — сталь марок 10 и 20.
3. Диаметр болтов для всех типоразмеров фланцев принят $d_G = M20$.
4. Размеры: $D_0 = D_G + 2s + 3$ мм; $R = 9 + 12$ мм.
5. Фланцы типа 1-А прикладываются к отбортованной части обечайки заклепками $\varnothing 6$ мм с обеих сторон апотай. Количество заклепок равно числу отверстий под болты, уменьшенному в два раза. Заклепки располагаются между болтовыми отверстиями.
6. Фланцы рассчитаны на применение мягких прокладок: для типов 2 и 3 на всей ширине фланца, для типа 1 — на ширине до болтовых отверстий.

Фланцы виниловые свободные для трубопроводов из винилпаста
(по данным Владимирского химического завода)

Таблица 21.1



$p, \text{ МПа}$	$D_{\text{н}}$	Труба			Фланец							Болты	
		$d_{\text{н}}$	s	D_1	$D_{\text{ф}}$	$D_{\text{б}}$	$D_{\text{в}}$	h	d	c	Масса, кг	$d_{\text{б}}$, мм	z
0,6	10	15	2,5	35	75	50	16	12	2	0,06	M10	4	
	15	20		40	80	55	22						0,07
0,25	20	25	2	50	90	65	31	15	12	0,11	M10	4	
0,6			3	60	100	75	38						0,13
0,25	25	32	3	70	120	90	46	17	14	0,18	M12	8	
0,6			4	80	130	100	56						0,24
0,25	32	40	3,5	90	140	110	70	20	18	0,26	M16	8	
0,6			5	128	190	150	104						0,54
0,25	40	51	4	150	210	170	123	20	18	0,58	M16	8	
0,6			6	180	240	200	140						0,85
0,25	50	63	4,5	200	260	220	160	25	22	1,1	M20	12	
0,6			7	240	300	260	190						1,3
0,25	75	96	6,5	280	340	300	220	30	28	1,6	M24	16	
0,6			7	320	380	340	250						1,9

Примечание. Плотность материала при подсчете массы фланцев принята $\rho = 1,38 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Фланцевые соединения труб из кварцевого стекла
(по данным Ленинградского завода им. Ломоносова, см. рис. 21.18)

Таблица 21.22

$D_{\text{н}}$	Фланец					Втулки				Накладный							Болты	
	$D_{\text{ф}}$	$D_{\text{б}}$	$D_{\text{в}}$	h	d	D_1	D_2	H	h_1	$D_{\text{н}}$	$D_{\text{в}}$	s	L	l	l_1	l_2	$d_{\text{б}}$	z
5	60	40	22	8	10	30	11	10	5	20±1	5±1	1,5±0,5	40±2	4	9	7	M8	3
10	76	50	32	10	12	40	16	10	5	30±1	10±1	2±0,5	50±2	6	14	11	M10	
15	80	55	38			45	22	12	6	34±1	15±1		3±1	60±2	7	15			13	M12
20	90	65	44	55	29	15	7	42±1	20±1,5	3±1	70±2	8,5		18	16	M16		
30	120	90	56	70	38			80	50		54±1	30±2	3±1	80±2	11		21		20	M20
40	130	100	67	12	14	80	50	65±1	40±2	3±1	100±2	13		25	24	M24		
50	140	110	83	95	60	95	60	80±2	50±2		3±1	120±2	17	30	30		M30	

Примечания:

1. Пределы применения соединений при $p \leq 0,25 \text{ МПа/м}^2$ и вакууме для температуры среды не более 100°C .
2. Материал фланцев и болтов — сталь, втулки — текстолит.

Расчетная высота свободного фланца h' в м (см) определяется по двум формулам:

$$h' = \sqrt{\Phi}; \quad (21.66)$$

$$h' = 0,43 \sqrt[3]{D_o \Phi}, \quad (21.67)$$

где величина Φ принимается большей из Φ_1 или Φ_2 .

За расчетное принимается большее значение h' из (21.66) или (21.67).

Определение высоты бурта для свободных фланцев рекомендуется производить аналогично цельным фланцам, считая бурт с цилиндрической горловиной за плоский фланец, а бурт с конической горловиной — за фланец с такой горловиной.

При этом $K = \frac{D_2}{D_o}$.

Пример 21.7. Определять основные размеры свободного фланца с буртом (см. рис. 21.19) к примерам 20.6 и 21.4 по следующим данным: материал фланца — специальная сталь ($\sigma_T^{20} = 320 \text{ Мн/м}^2$); материал бурта — сталь ($\sigma_T^{20} = 220 \text{ Мн/м}^2$); бурт с конической горловиной.

Из примеров 20.6 и 21.4 имеем: $D_o = 0,2 \text{ м}$, $D_n = 0,223 \text{ м}$; $P'_o = 0,78 \text{ Мн}$; $P'_o = 0,998 \text{ Мн}$; $D_o = 0,3 \text{ м}$; $d_o = 20 \text{ мм}$; $z' = 18,1$; $z = 20$.

Согласно данным графика рис. 21.14 толщину горловины бурта принимаем

$$s_2 = 1,5 s = 1,5 \cdot 16 = 24 \text{ мм.}$$

Расчетный внутренний диаметр фланца определяем по формуле (21.63)

$$D'_o = D_o + 2s_2 + 0,006 = 0,2 + 2 \cdot 0,024 + 0,006 = 0,254 \text{ м.}$$

Принимаем $D_o = 255 \text{ мм}$.

Расчетный наружный диаметр бурта определяем по формуле (21.64)

$$D'_2 = 1,18 \sqrt{\frac{P'_o}{\sigma_T} + D_o^2} = 1,18 \sqrt{\frac{0,998}{220} + 0,255^2} = 0,311 \text{ м.}$$

Принимаем $D_2 = 310 \text{ мм}$.

Расчетный наружный диаметр фланца при величине $a = 0,04 \text{ м}$ (по табл. 21.18) определяем по формуле (21.32)

$$D'_\phi = D_o + a = 0,33 + 0,04 = 0,37 \text{ м.}$$

Принимаем $D_\phi = 370 \text{ мм}$.

Определим высоту фланца.

Предварительно находим

$$K = \frac{D_\phi}{D_o} = \frac{0,37}{0,255} = 1,45.$$

Приведенную нагрузку на фланец при затяжке соединения и в рабочих условиях (в нашем случае обе нагрузки равны, поскольку $P_{o1} = P_{o2} = P'_o$) определяем по формуле (21.65)

$$P_1 = P_2 = \frac{K}{K-1} \cdot \frac{D_o}{D_o} \left(\frac{D_o}{D_2} - 1 \right) P'_o = \frac{1,45}{1,45-1} \cdot \frac{0,255}{0,33} \left(\frac{0,33}{0,31} - 1 \right) 0,998 = 0,159 \text{ Мн (15 900 кгс).}$$

Коэффициент ψ_1 находим по графику рис. 21.8; $\psi_1 = 1,22$.

Вспомогательную величину Φ (в нашем случае для $i_e = 20^\circ \text{ С}$, $\Phi_1 = \Phi$) определяем по формуле (21.35)

$$\Phi = \frac{P_1}{\sigma_T^{20}} \psi_1 = \frac{0,159}{320} \cdot 1,22 = 0,00606 \text{ м}^2 (60,6 \text{ см}^2).$$

Расчетную высоту фланца определяем по двум формулам (21.66) и (21.67):

$$h' = \sqrt{\Phi} = \sqrt{0,00606} = 0,0779 \text{ м;}$$

$$h' = 0,43 \sqrt[3]{D_o \Phi} = 0,43 \sqrt[3]{0,255 \cdot 0,00606} = 0,052 \text{ м.}$$

Принимаем $h = 78 \text{ мм}$.

Определим высоту бурта.

Предварительно находим

$$K = \frac{D_2}{D_o} = \frac{0,31}{0,2} = 1,55.$$

Приведенную нагрузку на бурт при затяжке соединения определяем по формуле (21.33)

$$P_1 = \frac{K}{K-1} \cdot \frac{D_o}{D_o} \left(\frac{D_o}{D_n} - 1 \right) P'_o = \frac{1,55}{1,55-1} \cdot \frac{0,2}{0,33} \left(\frac{0,33}{0,223} - 1 \right) 0,998 = 0,817 \text{ Мн (81 700 кгс).}$$

Приведенную нагрузку на бурт при рабочих условиях определяем по формуле (21.34)

$$P_2 = \frac{K}{K-1} \left[P'_o \frac{D_o}{D_o} \left(\frac{D_o}{D_n} - 1 \right) + P'_o \left(1 - \frac{D_o}{D_n} \right) \right] = \frac{1,55}{1,55-1} \left[0,998 \frac{0,2}{0,33} \left(\frac{0,33}{0,223} - 1 \right) + 0,78 \left(1 - \frac{0,2}{0,223} \right) \right] = 1,04 \text{ Мн (104 000 кгс).}$$

Коэффициент ψ_1 находим по графику рис. 21.8; $\psi_1 = 1,27$.

Коэффициент ψ_2 находим по графику рис. 21.9; $\psi_2 = 2,4$.

Коэффициент α при $i = 1 : 3$ находим по графику рис. 21.12 и = 1,2.

Вспомогательную величину Φ_1 определяем по формуле (21.35)

$$\Phi_1 = \frac{P_1}{\sigma_T^{20}} \psi_1 = \frac{0,817}{220} \cdot 1,27 = 47,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Вспомогательную величину Φ_2 определяем по формуле (21.36)

$$\Phi_2 = \frac{P_2}{\sigma_T^{20}} \psi_2 = \frac{1,04}{220} \cdot 1,27 = 60 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Эквивалентную толщину стенки горловины определяем по формуле (21.43)

$$s_3 = \alpha s_1 = 1,2 \cdot 0,016 = 0,0192 \text{ м.}$$

Вспомогательную величину A определяем по формуле (21.37)

$$A = 2\psi_2 s_3^2 = 2 \cdot 2,4 \cdot 0,0192^2 = 17,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Принимаем за расчетную большую величину $\Phi = \Phi_2$.

Определим значение величины

$$1,13A = 1,13 \cdot 17,7 \cdot 10^{-4} = 20 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Поскольку $\phi = 0,006 \gg 1,13A = 0,002$, расчетную высоту бурта определяем по формулам (21.40) и (21.45):

$$h'_1 = \sqrt{\phi - 0,85A} = \sqrt{60 \cdot 10^{-4} - 0,85 \cdot 17,7 \cdot 10^{-4}} = 0,067 \text{ м};$$

$$h'_1 = 0,45 \sqrt[3]{D_\phi (\phi - 0,85A)} =$$

$$= 0,45 \sqrt[3]{0,2 (60 \cdot 10^{-4} - 0,85 \cdot 17,7 \cdot 10^{-4})} = 0,0435 \text{ м}.$$

Принимаем $h_1 = 68 \text{ мм}$.

Расчет круглых внутренних фланцев
(см. рис. 21.17, тип VI и рис. 21.20)

Такие фланцы из различных марок стали применяются, например, в конструкциях затворов высокого давления для осуществления предварительной заточки обтюратора, а также в других подобных конструкциях из любых материалов.

Внутренний диаметр опорной поверхности фланца D_1 обычно выбирается по конструктивным соображениям. Расчетный наружный диаметр фланца D'_ϕ в м (см) необходимо определять из условия отсутствия остаточных деформаций сдвига на опорных поверхностях

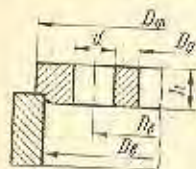


Рис. 21.20. Основные размеры свободного круглого внутреннего фланца

$$0,785 \left((D'_\phi)^2 - D_1^2 \right) \leq \frac{\sigma'_r}{1,1},$$

или после преобразования в решении данного неравенства относительно D'_ϕ

$$D'_\phi \geq 1,18 \sqrt{\frac{P'_\phi}{\sigma'_r} - D_1^2}, \quad (21.68)$$

где P'_ϕ — расчетное растягивающее усилие в болтах в Мн (кгс);

σ'_r — предел текучести более мягкого материала из опорных частей в Мн/м² (кгс/см²);

D_1 — внутренний диаметр опорной поверхности в м (см).

Расчетный внутренний диаметр фланца D'_ϕ определяется по формуле (21.52).

Рассматривая упрощенно прочность диаметрального сечения фланца на изгиб от действия на него нагрузки $\frac{P'_\phi}{2}$, распределенной по половине болтовой окружности, и равной ей реакции опоры, распределенной по половине средней окружности опоры, получим изгибающий момент, действующий на фланец,

$$M_n = \frac{P'_\phi}{2} \left(\frac{D_\phi + D_1}{2\pi} - \frac{D_n}{\pi} \right); \quad (1)$$

момент сопротивления диаметрального сечения фланца

$$W = \frac{(D_\phi - D_n - 2d) (h')^3}{8}; \quad (2)$$

условие прочности фланца

$$\sigma_{из} \geq \frac{M_n}{W} = \frac{P'_\phi}{2} \left(\frac{D_\phi + D_1}{2\pi} - \frac{D_n}{\pi} \right) \times \frac{6}{(D_\phi - D_n - 2d) (h')^3}; \quad (3)$$

решая данное уравнение относительно h' в м (см), получим

$$h' \geq 0,977 \sqrt{\frac{P'_\phi \left[0,5 (D_\phi + D_1) - D_n \right]}{(D_\phi - D_n - 2d) \sigma_{из}}}, \quad (21.69)$$

где d — диаметр отверстий под болты в м (см); $\sigma_{из}$ — допустимое напряжение на изгиб для материала фланца в Мн/м² (кгс/см²).

Значения остальных величин см. выше.

21.4 РЕЗЬБОВЫЕ ФЛАНЦЫ

Основные типовые конструкции резьбовых фланцев, применяемых в химическом аппаратостроении, показаны на рис. 21.21.

В табл. 21.23—21.26 приведены основные данные о стандартизованных и нормализованных резьбовых фланцах. Резьбовые фланцы обычно на корпус или трубу не закрепляются, поэтому оборачиваясь соединению должна быть размещена на торце корпуса или трубы. Материал резьбовых фланцев выбирается тот же, что и соединяемых частей или более прочным.

Расчетная температура резьбовых фланцев принимается равной 0,97 t_c [70].

Расчет наружных резьбовых фланцев (см. рис. 21.21, тип I)

Такие фланцы преимущественно из различных марок стали, реже из цветных металлов и сплавов применяются в ковальной и ковано-сварной аппаратуре в основном для p_y более 10 Мн/м² и t_c до 400°С и выше. Диаметр резьбы фланца d_0 выбирается из конструктивных соображений.

Расчетный наружный диаметр фланца D'_ϕ определяется по формуле (21.32).

Определение расчетной высоты фланца h' рекомендуется производить по тем же формулам, что и наружные свободные фланцы. При этом вместо D_ϕ и D_2 подставляется d_0 . Величина h' подлежит проверке на прочность резьбы (см. гл. 22).

Пример 21.8. Определить основные размеры резьбового фланца к примерам 20.4 и 21.3 по следующим данным: материал фланца — сталь ($\sigma_r = 350 \text{ Мн/м}^2$); $d_0 = 360 \times 4$.

Из примеров 20.4 и 21.3 имеем: $D_e = 0,3 \text{ м}$; $D_n = 0,317 \text{ м}$; $D_\phi = 0,45 \text{ м}$; $p = 25 \text{ Мн/м}^2$ (250 кгс/см^2); $P'_\phi = 2,493 \text{ Мн}$ ($249\,300 \text{ кгс}$); $d_0 = 36 \text{ мм}$; $z = 16$; $d = 41 \text{ мм}$.

Расчетный наружный диаметр фланца при величине $a = 0,07 \text{ м}$ (по табл. 21.18) определяем по формуле (21.32)

$$D'_\phi = D_\phi + a = 0,45 + 0,07 = 0,52 \text{ м}.$$

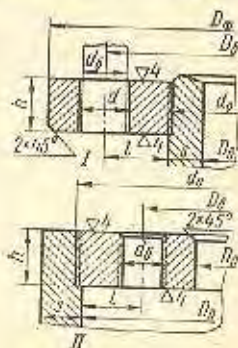
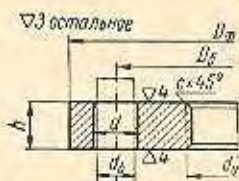


Рис. 21.21. Основные типовые конструкции резьбовых фланцев, применяемых в химическом аппаратостроении: I — наружные; II — внутренние

Таблица 21.23

Фланцы стальные резьбовые для арматуры, соединительных частей и труб с линзовым уплотнением на $p_y = 20 \rightarrow 100 \text{ МПа/м}^2$ (по ГОСТу 9399—63)



Условное обозначение фланца с резьбой М14×1,5 из стали марки 35: «Фланец М14×1,5—35 ГОСТ 9399—63»

$p_y, \text{ МПа/м}^2$	D_y	Фланцы					Шпильки		Масса фланца, кг			
		$d_б$	$D_ф$	$D_б$	h	e	$d_б$	z				
		мм										
20—100	6	М14×1,5	70	42	15	0,5	M14	3	0,36			
	10	М24×2	96	60	20		M16		0,93			
20—50 64—100	15	М33×2	105	68	25		M20	4	1,10 1,35			
20—50 64—100	25	М42×2	115	80	30				1,0	1,56		
20—40 50—64 80—100	32	М48×2	135	95	30	1,5	M22	6	2,60			
20—64 80—100		40	М56×3	165	115				35	M22	4,50	
20—40 50—100	60	М80×3	200				145	40		M27	7,04	
20—40 50—64 80—100	70	М100×3	225	170	50		M30	10,5				
20—25 32—40 50—64 80—100	90	М110×3	245	185	55	2,0	M33	8	14,0			
		М125×4	260	195					65	M33	15,0	
		М135×4	290	220	70	1,5	M30	6	22,8			
		М155×4	300	235					M36	23,2		
20—25 32—40 50—64 80—100	100	М125×4	260	195	55	2,0	M33	6	15,0			
		М135×4	290	220	65				M36	22,8		
		М155×4	300	235	70				M39	31,7		
		М175×4	330	255	80				M36	23,2		
20—25 32—40 50—64 80—100	125	М155×4	300	235	70	2,5	M45	8	55,3			
		М175×4	330	255	80				M39	31,7		
		М190×4	400	305	85				2,0	M52	10	55,9
		М215×6		315	95							M56	84,5
20—25 32—40 50—64 80—100	150	М190×6	460	305	85	2,5	M56	10	106			
		М215×6		315	95				M52	84,5		
		М240×6	460	360	105				130	M56	106	
		М265×6	480	380	106							164
20—25 32—40 50—80	200	М240×6	460	360	105	2,5	M56	10	84,5			
М265×6	480	380	130	106								
М295×6	570	460		164								

Примечания:

1. Материал фланцев в зависимости от условного давления p_y и рабочей температуры среды t_c см. в табл. 21.24.
2. Фланцы применимы при рабочей температуре среды от минус 50 до плюс 510° С.
3. В обозначение фланцев с резьбой М33×2 вводится количество отверстий для шпилек: М33×2 — z.

Таблица 21.24

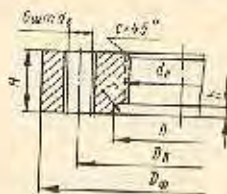
Материал резьбовых фланцев для арматуры, соединительных частей и труб с линзовым уплотнением на $p_D = 20 \dots 100 \text{ Мн/м}^2$ (по ГОСТу 9399—63)

$p_D, \text{ Мн/м}^2$	$t_c, \text{ }^\circ\text{C}$	Марки стали
≤ 32	От -50 до +200	35
40—64		
≤ 80 ≤ 100	≤ 100 ≤ 510	30Х 38ХА, 40Х 25Х2МФА

Примечание. Конструкцию и основные данные фланцев см. в табл. 21.23.

Таблица 21.25

Фланцы стальные резьбовые для соединений труб с линзовым уплотнением на $p_D = 250 \text{ Мн/м}^2$ (по данным Иркутского филиала НИИхиммаша)

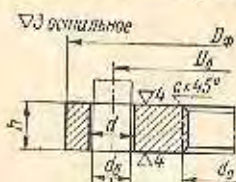


D_D	d_0	D_ϕ	$D_б$	D	H	h	r	a	d_ϕ	Масса фланца, кг
мм										
25	M60×3	180	130	63	50	7	1,0	2,5	M24	7,6
32	M78×3	235	172	79	60	6			M30	13,8
40	M95×3	270	200	98	70	10	1,5	3	M36	23,6

Примечания:
1. Материал фланцев — сталь марок 35ХМ, 40Х и 40ХФА, шпильки — 25Х1МФ, гаек — 30ХМА.
2. Фланцы применимы при рабочей температуре среды от минус 40 до плюс 300°С.

Таблица 21.25

Фланцы стальные резьбовые для соединений труб с линзовым и конусным уплотнением на $p_D = 150 \text{ Мн/м}^2$ (по данным Иркутского филиала Гипроисфетемаша)



Принимаем $D_\phi = 520 \text{ мм}$.
Определим высоту фланца.
Предварительно находим

$$K = \frac{D_\phi}{d_0} = \frac{0,52}{0,36} = 1,44.$$

Приведенную нагрузку на фланец при затяжке соединения и в рабочих условиях определяем по формуле (21.65)

$$P_1 - P_2 = \frac{K}{K-1} \cdot \frac{d_0}{D_\phi} \left(\frac{D_\phi}{d_0} - 1 \right) P'_\phi = \frac{1,44}{1,44-1} \cdot \frac{0,36}{0,45} \left(\frac{0,45}{0,36} - 1 \right) 2,493 = 1,63 \text{ Мн} (163000 \text{ кгс}).$$

Коэффициент ψ_1 находим по графику рис. 21.8, $\psi_1 = 1,215$.
Вспомогательную величину Φ (в нашем случае для $t_c = 20^\circ\text{C}$ $\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi$) определяем по формуле (21.35)

$$\Phi = \frac{P_1}{\sigma_T^{20}} \psi_1 = \frac{1,63}{350} 1,215 = 56,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Расчетную высоту фланца определяем по двум формулам (21.66) и (21.67):

$$h' = \sqrt{\Phi} = \sqrt{56,5 \cdot 10^{-4}} = 0,0752 \text{ м};$$

$$h' = 0,43 \sqrt{\frac{\Phi}{d_0}} = 0,43 \sqrt{\frac{0,36 \cdot 56,5 \cdot 10^{-4}}{0,36}} = 0,0612 \text{ м}.$$

Принимаем $h = 75 \text{ мм}$.

D_D	Фланцы					Шпильки		Масса фланца, кг
	d_0	D_ϕ	$D_б$	h	a	d_ϕ	z	
мм								
6	M14×1,5	70	42	15	1	M14	3	0,37
10	M24×2	95	60	20		M16		0,93
15	M33×2	105	68	25	1,5	M20	4	1,34
25	M48×2	145	105	30				M22	2,90
32	M64×3	165	115	35	2	M27	6	4,20
40	M85×3	200	145	45				M30	7,78
60	M105×3	260	195	55			8	16,4

Примечания:
1. Материал фланцев — сталь марок 35ХМ, 40Х и 40ХФА, шпильки — 25Х1МФ, гаек — 30ХМА.
2. Фланцы применимы при рабочей температуре среды от минус 40 до плюс 300°С.

Расчет внутренних резьбовых фланцев
(см. рис. 21.21, тип II)

Материал и область применения таких фланцев те же, что и наружных резьбовых фланцев.

Диаметр резьбы фланца d_0 выбирается из конструктивных соображений.

Расчетный внутренний диаметр фланца D_0 определяется по формуле (21.52).

Определение расчетной высоты фланца h' рекомендуется производить по той же формуле (21.69), что и внутренние свободные фланцы (см. выше). При этом вместо D_f и D_1 подставляется d_0 .

Величина h' подлежит проверке на прочность резьбы (см. гл. 22).

21.5. ФЛАНЦЕВЫЕ БОБЫШКИ

Наряду с фланцами в химической аппаратуре для присоединения труб и других узлов и деталей нередко применяются фланцевые бобышки.

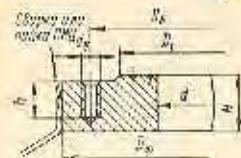
Основные типовые конструкции фланцевых бобышек показаны на рис. 21.22.

В табл. 21.27—21.29 приведены основные данные о нормализованных фланцевых бобышках, применяемых в химических аппаратах.

Фланцевые бобышки могут быть установлены на цилиндрических, эллиптических, сферических, конических и плоских стенках аппарата. По форме они бывают круглые и прямоугольные.

Таблица 21.27

Фланцевые круглые вставные бобышки
из латуни и бронзы для сварных и паяных
медных аппаратов на $p_y \leq 0,6 \text{ Мн/м}^2$
(по МН 5235—64)



Условное обозначение
бобышки из латуни на $D_y =$
10 мм: «Бобышка А—6—10
МН 5235—64»

D_0	d	H	Масса * кг	D_0	d	H	Масса * кг
10	14	28	1,0	32	38	32	2,5
15	18		1,2	40	45		2,8
20	25		1,3	50	57		3,1
25	32		1,6				

Примечания:

1. Материал бобышек — латунь марки ЛК 30-31 или бронза (марка в зависимости от агрессивности среды).
2. Размеры D_0 , D_0 , D_1 и d_0 , а также количество резьбовых гнезд см. в табл. 21.9.
3. Удлинительные поверхности см. в табл. 20.3.
4. Глубина резьбовых гнезд для шпилек: при $d_0 = \text{M10}$ $h = 19 \text{ мм}$, при $d_0 = \text{M12}$ $h = 22 \text{ мм}$.
5. Пределы применения бобышек: $p < 0,6 \text{ Мн/м}^2$, t_c от минус 196° С до плюс 250° С.

* Масса приведена для латуни.

Выполняя роль фланца на аппарате, бобышка одновременно является укреплением отверстия в стенке (см. гл. 18).

Вместе с тем бобышки по сравнению с соответствующими фланцами на одни и те же параметры p_y и D_y в ча-

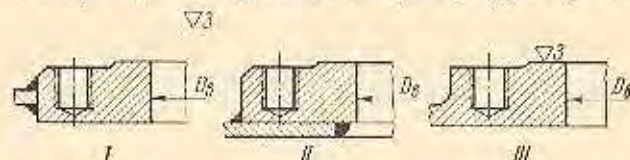


Рис. 21.22. Основные типовые конструкции фланцевых бобышек, применяемых в химическом аппаратостроении: I и II — приварные; III — для литых аппаратов

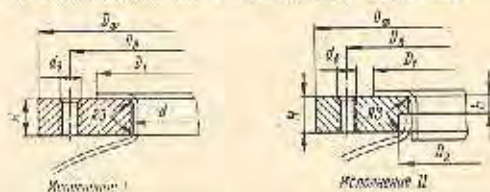
сти расхода материала обычно менее выгодны, так как из конструктивных соображений они должны быть более высокими. Высота бобышки в основном определяется глубиной резьбового гнезда под шпильку.

Поэтому установленные нормальными МН 3919—62 — МН 3921—62 типы и основные размеры бобышек на p_y от 0,6 до 6,4 Мн/м^2 и D_y от 10 до 100 мм в химической аппаратуре имеют ограниченное применение (см. табл. 21.29) и в Справочнике не приведены.

Таблица 21.28

Фланцевые круглые бобышки из стали
под отбортовку для сварных и паяных
медных аппаратов на $p_y \leq 0,6 \text{ Мн/м}^2$
(по МН 5236—64)

Условное обозначение бобышки исполнения I на
 $D_y = 70 \text{ мм}$: «Бобышка 1—6—70 МН 5236—64»



D_0	d	D_0	H	h	Исполнения	
					I	II
мм					Масса, кг	
70	78	83	18	8	—	1,6
80	88	93			3,2	
100	110	116	22	10	3,8	3,7
125	134	140			4,8	4,7
150	160	166			5,5	5,3
200	210	216			7,2	7,0
250	262	268	12	12	8,8	8,6
300	312	318			15,0	14,9
350	368	—	28	—	15,2	—
400	418	—	32	—	17,8	—
450	468	—	34	—	21,9	—
500	518	—	38	—	26,7	—

Примечания:

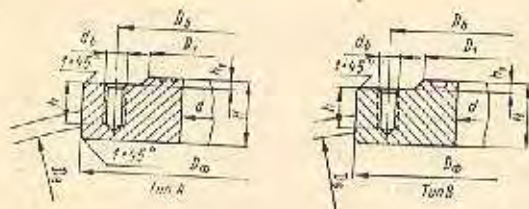
1. Материал бобышек — сталь марки Ст.3.
2. Размеры D_0 , D_0 , D_1 и d_0 , а также количество резьбовых гнезд см. в табл. 21.9.
3. Пределы применения бобышек: $p_y \leq 0,6 \text{ Мн/м}^2$, t_c от минус 30 до плюс 250° С.
4. Бортовка к бобышкам исполнения II см. в табл. 27.9.

Таблица 21.29

Продолжение таблицы 21.29

Фланцевые круглые резьбовые бобышки
из стали для сварных стальных аппаратов
(по ОН 26-01-16-66)

Условное обозначение бобышки типа А из углеродистой стали (исполнение I) на $p_y = 1,0 \text{ Мн/м}^2$, $D_y = 15 \text{ мм}$ и $H = 35 \text{ мм}$: «Бобышка А-1-1,0-15-35 ОН 26-01-16-66»



p_y , Мн/м ²	D_y	d	H	D_n	Масса *, кг
1,0 1,6 2,5 1,6	15	18	35	400—4000	1,67
2,5				400—2600	
				400—1400	
2,5	15	18	45	2800—4000	2,2
			55	1600—2600	2,85
				2800—3200	
1,0 1,6 2,5 1,6	20	25	35	400—4000	2,03
2,5				400—2600	
				400—1400	
2,5	20	25	45	2800—4000	2,67
			55	1600—2600	3,44
				2800—3200	
1,0 1,6 2,5 1,6	25	32	35	400—4000	2,4
2,5				400—2600	
				400—1400	
2,5	25	32	45	2800—4000	3,15
			55	1600—2400	4,06
				2600—3200	
1,0 1,6	32	38	45	400—4000	4,3
2,5				400—2400	
			55	2600—3200	5,56

p_y , Мн/м ²	D_y	d	H	D_n	Масса *, кг
1,0 1,6 2,5 1,6 2,5	40	45	45	400—4000	4,76
2,5				400—3800	
	2,5	40	45	55	400—2400	6,17
4000					
2,5	40	45	55	2600—3000	6,17
1,0 1,6 2,5 1,6 2,5	50	57	45	400—4000	5,66
2,5				400—3800	
				400—2000	
2,5	50	57	55	4000	7,31
				2200—3000	
1,0 1,6 2,5 1,6 2,5	70	76	45	400—4000	6,8
2,5				400—3400	
	2,5	70	76	55	400—2000	8,77
3600—4000					
2,5	70	76	55	2200—3000	8,77
1,0 1,6 2,5 1,6 2,5	80	89	45	400—4000	7,45
2,5				400—3400	
	2,5	80	89	55	100—2000	9,68
3600—4000					
2,5	80	89	55	2200—3000	9,68
1,0 1,6 2,5	100	108	45	400—4000	8,71
2,5				400—3400	
				3600—4000	
2,5	100	108	55	400—2800	11,3

Примечания:
1. Бобышки следует применять только при невозможности применения соответствующих штуцеров.
2. Бобышки изготавливаются в двух исполнениях: I — из углеродистой стали, II — из коррозионностойкой стали.
3. Размеры $D_{ф}$, $D_{б}$, D_1 и $d_{г}$ в таблице и количество резьбовых гнезд см. в табл. 21.9.
4. Размеры уплотнительных поверхностей типов А и В см. в табл. 20.3.
5. Глубина резьбовых гнезд для шпилек: при $d_{г} = M12$ $h = 23$ мм, при $d_{г} = M16$ $h = 28$ мм и при $d_{г} = M20$ $h = 35$ мм.
6. Пределы применения бобышек в зависимости от p_y и t_c аналогичны соответствующим фланцам и их материалам.

* Масса бобышек для обоих типов — одинакова.

РЕЗЬБОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

В химических аппаратах резьбовые соединения применяются для крепления: стальных труб высокого давления $D_y \leq 20$ мм, труб среднего и низкого давлений $D_y \leq 32$ мм и других преимущественно металлических узлов и деталей.

Основные типовые конструкции разъемных резьбовых соединений, применяемых в химическом аппаростроении, показаны на рис. 21.1 (типы III и VI) и рис. 22.1. Свинчивание резьбовых фланцев в типовых соединениях III и VI (рис. 21.1) производится без натяга, свинчивание деталей по рис. 22.1 и нажимных болтов в соединениях VI (рис. 21.1) производится с натягом, создающим осевую нагрузку.

В табл. 22.1—22.4 приведены основные данные о наиболее употребительных стандартизованных и нормализованных резьбовых соединениях труб.

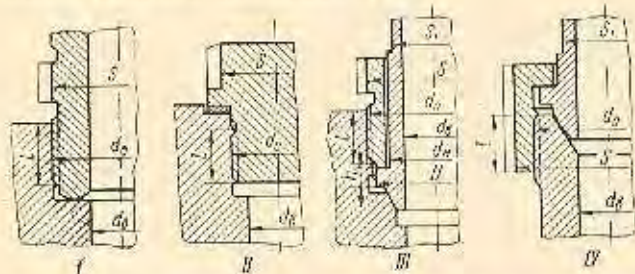


Рис. 22.1. Основные типовые конструкции разъемных резьбовых соединений, применяемых в химическом аппаростроении. S и S₁ — размеры под ключ

Кроме указанных в химической аппаратуре иногда применяются: резьбовые соединения для стальных труб с развальцовкой трубы на $p_y \leq 6,4$ Мн/м² и $D_y \leq 25$ мм по МН 2313—61—МН 2344—61 и МН 2415—61, резьбовые штуцерно-торцовые соединения с фибровой прокладкой для латунных труб на $p_y = 20$ Мн/м² и $D_y \leq 10$ мм по МП 1130—60—МН 1134—60, резьбовые штуцерно-торцовые соединения с медной прокладкой для стальных труб на $p_y = 32$ Мн/м² и $D_y \leq 32$ мм по МН 2286—61—МП 2312—61 и МН 2421—61.

При конструировании резьбовых соединений следует применять метрические резьбы по ГОСТу 9150—59 или трубные цилиндрические — по ГОСТу 6357—52.

Во всех резьбовых соединениях и особенно в соединениях, в процессе свинчивания которых создается осевая нагрузка, необходимо предусматривать наличие устройств, позволяющих при вращении одной из соединяемых деталей удерживать от вращения другую (например, шестигранник, лыски под ключ и др.).

Выбор материалов для деталей с резьбой рекомендуется производить так, чтобы твердость и прочность материала винта были несколько выше твердости и прочности материала сопрягаемой с ним гайки, что достигается применением для винта и гайки разных материалов, либо достигается соответствующей различной термообработкой одного и того же материала. Разность в твердости резьбовой пары, в процессе свинчивания которой создается осевая нагрузка, рекомендуется иметь не менее НВ 20.

В обоснованных случаях возможно применение винта с твердостью, равной или меньшей твердости сопрягаемой с ним гайки.

В любом случае материал резьбовых деталей должен быть пластичным, а в деталях, имеющих шестигранник или лыски под ключ, кроме того, достаточно твердым.

Внутренние и наружные резьбы выполняются с точками, конструкции и размеры которых берутся согласно ГОСТу 10549—63. Размеры лысок, квадратов и шестигранников под ключ — по ГОСТу 6424—60.

Чистота обработки резьбы: в соединениях низкого и среднего давлений $\nabla 4$ — $\nabla 5$; в соединениях высокого давления $\nabla 6$ — $\nabla 7$.

Допускаемые отклонения элементов резьбы: для обычных соединений — по классу 3; для соединений высокого давления — по классу 2.

Расчет резьбовых соединений производится следующим образом. Расчету на прочность подлежат резьба, а также другие элементы соединения, подвергающиеся в процессе затяжки или эксплуатации нагрузкам (штуцера, шпильки, накидные и нажимные гайки и т. д.).

Обычно диаметр резьбы выбирается по конструктивным соображениям, затем принимается та или иная резьба по ГОСТу и расчетом определяется длина свинчивания.

Расчет резьбы производится на изгиб, смятие и срез, считая приближенно работу всех витков резьбы, находящиеся в контакте в резьбовой паре, равномерной. Расчетная длина свинчивания l' в м (см) из условия прочности резьбы на изгиб определяется по формулам:

для винта

$$l' \geq \frac{kP'(d_0 - d_1)}{d_1 t \sigma_{из}}; \quad (22.1)$$

для гайки

$$l' \geq \frac{kP'(d_0 - d_1)}{d_0 t \sigma_{из}}; \quad (22.2)$$

где P' — расчетная нагрузка, воспринимаемая резьбой, в Мн (кгс);

d_0 — наружный диаметр (размер) резьбы в м (см);

d_1 — внутренний диаметр резьбы в м (см);

t — шаг резьбы в м (см);

$\sigma_{из}$ — допускаемое напряжение на изгиб для материала винта или гайки в Мн/м² (кгс/см²);

k — коэффициент; для метрической резьбы $k = 0,623$, для трубной цилиндрической резьбы $k = 0,585$.

Расчетная длина свинчивания l' в м (см) из условия прочности резьбы на смятие для винта и гайки определяется по формуле

$$l' \geq \frac{1,27P't}{(d_0^2 - d_1^2) \sigma_{сд}}; \quad (22.3)$$

где $\sigma_{сд}$ — допускаемое напряжение на смятие для менее прочного материала (винта или гайки) в Мн/м² (кгс/см²).

Допускаемое напряжение на смятие принимается: для соединений, в процессе свинчивания которых не создается осевая нагрузка (резьбовые фланцы и т. п.), — по формулам табл. 14.5;

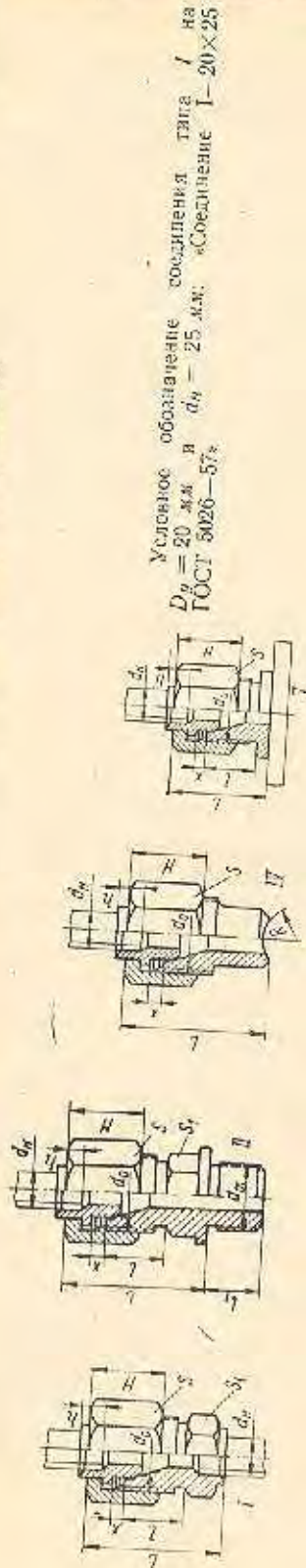
для соединений, в процессе свинчивания которых создается осевая нагрузка (шпильные соединения, пробки и т. п.), допускаемые напряжения, во избежание задира резьбы, рекомендуется принимать с коэффициентом 0,25 к указанному.

Расчетная длина свинчивания l' в м (см) из условия прочности резьбы на срез определяется по формулам: для винта

$$l' \geq \frac{0,318P'}{kd_1 \tau_{ср}}; \quad (22.4)$$

Таблица 22.1

Резьбовые ниппельно-шаровые соединения стальных труб (по ГОСТУ 5026—57)



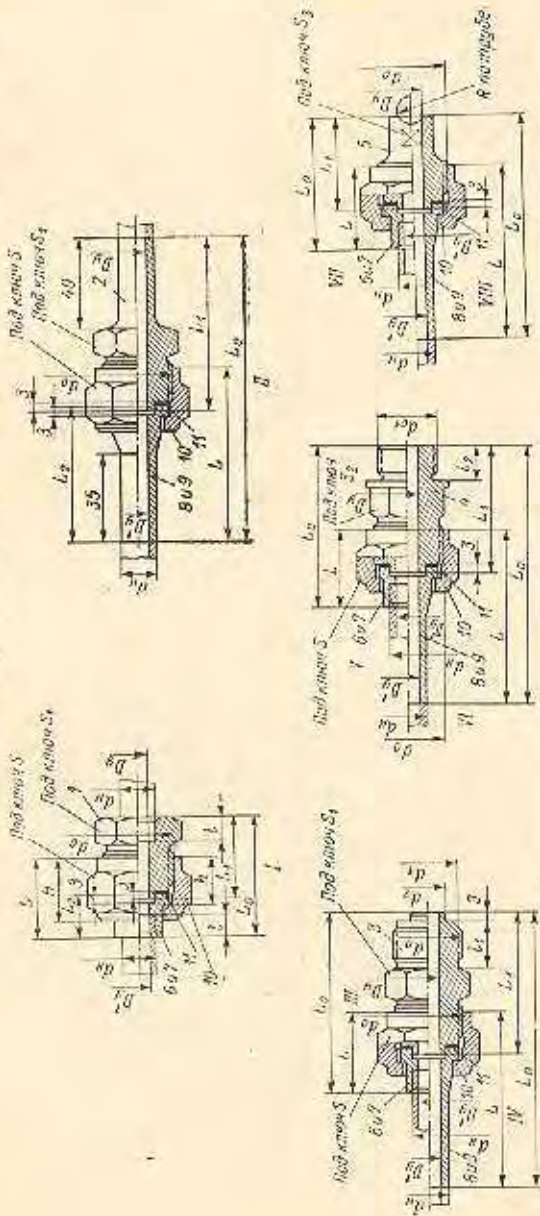
Условное обозначение соединения типа I на $D_g = 20$ мм и $d_g = 25$ мм. Соединение I—20×25
ГОСТ 5026—57*

$\rho_{\text{ст}}$ МПа	D_g	d_g	d_{g1}	Размер шарового соединения		x	l	l_1	R	H	a	L для типов					L для типов									
				S	S_2							I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	Масса, кг				
20*	3	6	M10×1,5	M14×1,5	22	14	2,2	14	13	7	18	7	32	33	32	25	0,07	0,092	0,064	0,067						
	6	10	M20×1,5	M16×1,5	27	16	2,6	16	10	8	20	8	35	39	36	30	0,123	0,153	0,104	0,112						
16*	10	14	M27×2	M24×2	32	22	3,0	22	16	9	25	9	47	50	44	36	0,216	0,309	0,182	0,190						
	15	20	M35×2	M30×2	41	32	3,5	32	18	10	30	10	54	58	49	42	0,368	0,527	0,317	0,359						
10	20	25	M39×2	M33×2	46	36	3,4	24	20	14	30	14	55	59	48	41	0,454	0,643	0,400	0,424						
	25	32	M48×2	M39×2	55	45	4,2	24	24	15	32	15	59	61	53	43	0,570	1,00	0,614	0,633						
6,4	32	38	M55×2	M48×2	65	50	4,6	26	26	15	35	15	63	65	59	47	0,938	1,32	0,87	0,959						

Примечание. Материал деталей — сталь с $\sigma_T \geq 380$ МПа и $\sigma_B \geq 500$ МПа, для соединений типа II — материал шаров при $\sigma_B > 5,4$ МПа.

* Для соединений типа II $\rho_{\text{ст}} = 10$ МПа.

Резьбовые муфтерно-торцовые соединения труб (по ГОСТу 5890—68)

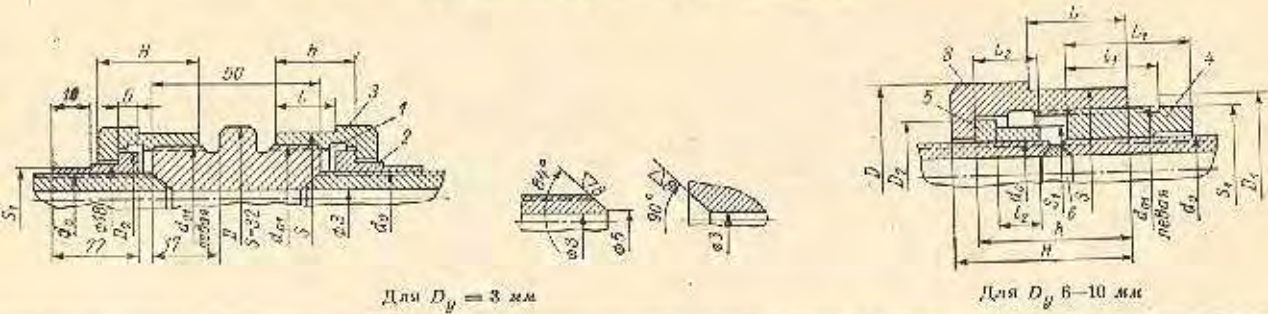


Условные обозначения соединений (левой части) из углеродистой стали типа I, D_p 20 с паронитовой прокладкой: «Со» — стальные 1—20П, угл. ст. ГОСТ 5890—68»

D_p	D_1'	D_2'	d_0	d_1	d_2	L											L_2											L_0				
						IIA		III A		для деталей							1	II	III	IV	V	VI	VII	VIII								
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11									12	13	14	15				
3	3	6	M18×1,5	15,8	6	27	—	49	42	35	12	—	37,5	—	59,5	—	52,5	—	45,5	—												
6	6	10	M22×1,5 Труб. 1/4"	19,8	10	27	—	58	54	47	13	—	39,5	—	65,5	—	58,5	—	48,5	—												
10	3	14	M27×1,5 Труб. 3/8"	24,8	14	31	70	31	71	58	15	—	44,5	—	71,5	—	64,5	—	54,5	—												
15	6	22	M30×2 Труб. 1/2"	33,0	22	41	78	41	81	—	65	47	19	56	58,5	135,5	94,5	131,5	82,5	119,5	64,5	101,5										
20	10	25	M33×2 Труб. 3/4"	33,0	25	44	81	45	85	77	—	66	51	21	58	64,5	141,5	133,5	85,5	122,5	70,5	107,5										
25	15	32	M48×2 Труб. 1"	45,0	32	49	84	49	89	87	63	23	—	70,5	145,5	108,5	143,5	95,5	130,5	84,5	119,5	—										
32	20	38	M48×2 Труб. 1 1/4"	53,0	38	53	89	52	92	93	79	25	61	76,5	151,5	116,5	152,5	102,5	138,5	93,5	128,5	—										

Таблица 22.3

Муфтово-резьбовые соединения стальных труб на $p_y = 150 \text{ Мн/м}^2$
(по данным Иркутского НИИхиммаша)

Для $D_y = 3 \text{ мм}$ Для $D_y = 6-10 \text{ мм}$

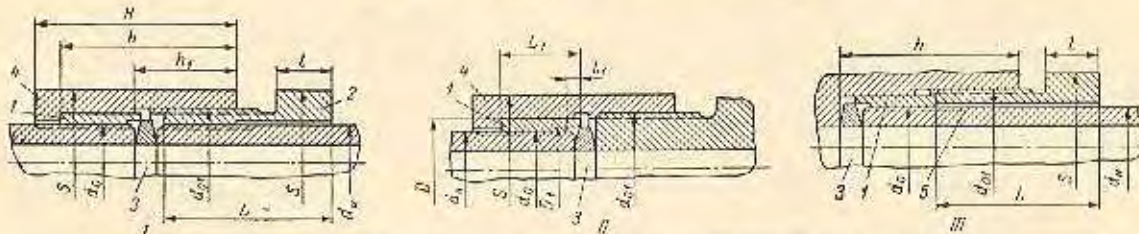
D_y	d_0	d_{01}	Размер «под ключ»		D	D_1	D_2	L	L_1	L_2	l_1	l_2	H	h	Детали				
			S	S_1											1	2	3	4	5
мм																			
3	M10×1	M27×2	32	14	36,9	—	24,5	15	—	22	—	—	27	22	0,26	0,07	0,11	—	—
6	M14×1,5	M39×3	46	41	53,1	48	35,4	20	35	20	25	10	50	40	—	—	0,12	0,085	0,026
10	M24×2																0,43	0,2	0,08

Примечания:

1. Материал деталей: 1 — выпеля, 2, 4 и 5 муфт — сталь марки 40Х; 3 — гайки накидной — сталь марки Ст. 5.
2. Материал, размеры и массу латя или уплотнительных колец (деталь 6) см. в табл. 20.15.

Таблица 22.4

Муфтово-резьбовые соединения стальных труб на $p_y = 250 \text{ Мн/м}^2$
(по данным Иркутского НИИхиммаша)



D_y	d_0	d_{01}	Размер «под ключ» S	D	D_1	L	L_1	l	l_1	H	h	h_1	Детали			
													1	2	4	5
мм																
3	M10×1	M24×2	32	18	12	40	21	10	8	56	49	32	0,026	0,31	0,164	0,08
6	M16×1,5	M30×2	41	25	17	50	32	15	6	74	63	37	0,073	0,6	0,246	0,152
10	M26×2	M42×3	60	37	28	58	41	18	9	89	75	43	0,162	1,56	0,42	0,23
15	M39×2	M56×3	80	51	41	65	48	20	10	110	89	50	0,32	2,95	0,8	0,442

Примечания:

1. Материал деталей: 1 — гайка упорная, 2 — гайка накидная, 4 — муфта резьбовая и 5 — гайка выпеля — сталь марки 25Х1МФ.
2. Материал, размеры и массу латя (деталь 3) см. в табл. 20.16, а значения d_H — в табл. 19.4

для гайки

$$l' \geq \frac{0,318P'}{kd_0\tau_{сд}} \quad (22.5)$$

где $\tau_{сд}$ — допускаемое напряжение на срез, соответственно для материала винта или гайки в Мн/м^2 (кгс/см^2).

При прочности материала винта не более прочности материала гайки определение расчетной длины свивчивания следует производить только для резьбы винта, в противном случае — для резьбы и винта, и гайки.

Во всех случаях расчетным является большее значение l' , определенное по формулам (22.1) — (22.5).

Длину свивчивания, независимо от расчета, рекомендуется принимать не менее 8*l*.

Пример 22.1. Определить длину свивчивания в резьбовом фланце к примеру 21.8 при условии, что корпус и фланец из одного материала ($\sigma_{сд} = \sigma_{св} = 233 \text{ Мн/м}^2$; $\tau_{сд} = 140 \text{ Мн/м}^2$).

Из примера 21.8 имеем: $d_0 = 0,36 \text{ м}$; $d_1 = 0,3568 \text{ м}$; $i = 0,004 \text{ м}$; $P' = 2,493 \text{ Мн}$; $h = 0,075 \text{ м}$.

Расчетную длину свивчивания при $k = 0,623$ из условия прочности резьбы на изгиб определяем по формуле (22.1)

$$l' = \frac{kP'(d_0 - d_1)}{d_1\sigma_{сд}} = \frac{0,623 \cdot 2,493 (0,36 - 0,3568)}{0,3568 \cdot 0,004 \cdot 233} = 0,0149 \text{ м.}$$

Расчетную длину свивчивания из условия прочности резьбы на смятие определяем по формуле (22.3)

$$l' = \frac{1,27P' i}{(d_0^2 - d_1^2) \sigma_{сд}} = \frac{1,27 \cdot 2,493 \cdot 0,004}{(0,36^2 - 0,3568^2) \cdot 233} = 0,0217 \text{ м.}$$

Расчетную длину свивчивания из условия прочности резьбы на срез определяем по формуле (22.4)

$$l' = \frac{0,318P'}{kd_1\tau_{сд}} = \frac{0,318 \cdot 2,493}{0,623 \cdot 0,3568 \cdot 140} = 0,0255 \text{ м.}$$

Окончательно расчетным является большее значение $l' = 0,0255 \text{ м}$. Принимаем $l = 32 \text{ мм}$ (8*l*).

Пример 22.2. Определить размеры основных элементов резьбового соединения по рис. 22.1, тип III, с обтюрацией, рассчитанной в примере 20.7, при условии, что $d_n = 0,03 \text{ м}$; материал шпигеля — сталь ($\sigma_{сд} = 300 \text{ Мн/м}^2$); материал нажимной гайки — сталь ($\sigma_{сд} = 250 \text{ Мн/м}^2$, $\tau_{сд} = 150 \text{ Мн/м}^2$), а материал корпуса, куда вворачивается нажимная гайка, более прочный, чем материалы шпигеля и нажимной гайки.

Из примера 20.7 имеем: $D_n = D_k = 0,026 \text{ м}$; $p = 100 \text{ Мн/м}^2$ (1000 кгс/см^2); $P'_n = 0,0277 \text{ Мн}$ (2770 кгс).

Расчетную силу от давления среды определяем по формуле (21.4)

$$P'_c = \frac{\pi}{4} D_n^2 p = \frac{\pi}{4} 0,026^2 \cdot 100 = 0,053 \text{ Мн} (5300 \text{ кгс}).$$

Расчетное осевое усилие, действующее на соединяемые, определяем по формуле (21.3)

$$P' = P'_c + P'_n = 0,053 + 0,0277 = 0,0807 \text{ Мн} (8070 \text{ кгс}).$$

Поскольку в процессе свивчивания создается осевая нагрузка, допускаемое напряжение на смятие для менее прочного материала нажимной гайки принимаем

$$\sigma_{сд} = 0,25\sigma_{сд} = 0,25 \cdot 250 = 62,5 \text{ Мн/м}^2 (625 \text{ кгс/см}^2).$$

Конструктивно принимаем внутренний диаметр опорной поверхности нажимной гайки $D_{nn} = 0,032 \text{ м}$.

Расчетный наружный диаметр опорной поверхности нажимной гайки из условия прочности ее на смятие определяем по формуле

$$D'_{nn} = \sqrt{\frac{1,27P'}{\sigma_{сд}} + D_{nn}^2} = \sqrt{\frac{1,27 \cdot 0,0807}{62,5} + 0,032^2} = 0,0517 \text{ м.}$$

Принимаем $D_{nn} = 52 \text{ мм}$.

Выбираем резьбу нажимной гайки $\text{М56} \times 3$ ($d_1 = 52,1 \text{ мм}$).

Расчетную высоту заплечика шпигеля из условия прочности его на изгиб определяем по формуле

$$h' = \sqrt{\frac{3P'(D_{nn} - D_n)}{\pi D_n \sigma_{сд}}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 0,0807 (0,052 - 0,03)}{\pi \cdot 0,03 \cdot 300}} = 0,0137 \text{ м.}$$

Принимаем $h = 14 \text{ мм}$.

Расчетную длину свивчивания из условия прочности резьбы на изгиб для нажимной гайки (винта) определяем по формуле (22.1)

$$l' = \frac{kP'(d_0 - d_1)}{d_1\sigma_{сд}} = \frac{0,623 \cdot 0,0807 (0,056 - 0,0521)}{0,0521 \cdot 0,003 \cdot 250} = 0,005 \text{ м.}$$

Расчетную длину свивчивания из условия прочности резьбы на смятие определяем по формуле (22.3)

$$l' = \frac{1,27P' i}{(d_0^2 - d_1^2) \sigma_{сд}} = \frac{1,27 \cdot 0,0807 \cdot 0,003}{(0,056^2 - 0,0521^2) \cdot 62,5} = 0,0114 \text{ м.}$$

Расчетную длину свивчивания из условия прочности резьбы на срез определяем по формуле (22.4)

$$l' = \frac{0,318P'}{kd_1\tau_{сд}} = \frac{0,318 \cdot 0,0807}{0,623 \cdot 0,0521 \cdot 150} = 0,0053 \text{ м.}$$

Окончательно расчетным является большее значение $l' = 0,0114 \text{ м}$. Принимаем $l = 21 \text{ мм}$ (8*l*).

КРЫШКИ И ЛЮКИ

Таблица 23.1

Фланцевые стальные заглушки (по ГОСТам 12836-67—12839-67)

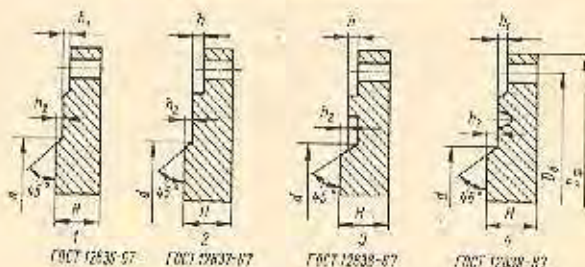
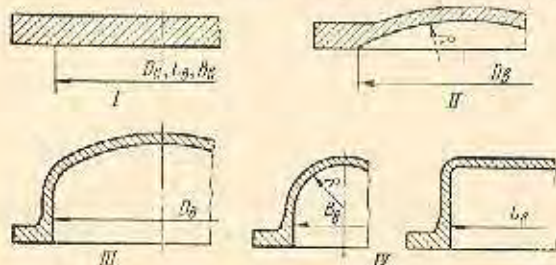


Рис. 23.1. Основные типовые конструктивные формы крышек, применяемых в химических аппаратах: I — плоская (круглая, прямоугольная, фасонная); II — сферическая (круглая); III — эллиптическая (круглая); IV — цилиндрическая (прямоугольная)

Условное обозначение заглушки с $D_g = 50$ мм и $p_g = 4$ МПа (40 кгс/см²) по ГОСТу 12836-67: «Заглушка 50—40 ГОСТ 12836-67»

$p_g, \text{МПа}^*$	$D_g, \text{мм}$	$d, \text{мм}$	Типы заглушек				Масса, кг	
			1, 2		3	4		
			1	2				
1,0—2,5	10	6	10	—	0,20	—	0,14	
			12	—	0,26	—	0,20	
			16	—	0,38	—	0,29	
			18	22	—	0,48	—	1,04
			20	25	—	0,71	—	1,21
1,0—2,5	15	10	10	—	0,24	—	0,16	
			12	—	0,31	—	0,23	
			16	—	0,43	—	0,33	
			18	22	—	0,55	—	0,53
			20	25	—	0,77	—	1,16
			24	—	—	0,92	—	1,35
			26	—	—	1,18	—	—
1,0—2,5	20	16	10	—	0,31	—	0,21	
			12	—	0,40	—	0,30	
			16	—	0,55	—	0,41	
			20	22	—	0,70	—	0,67
			24	22	—	1,30	—	1,63
			26	25	—	1,48	—	1,89
			28	—	—	1,83	—	—
			30	—	—	1,95	—	—

лые, прямоугольные и фасонные. Наибольшее распространение имеют круглые крышки и люки, как более технологичные и изготовленные, к которым всегда следует стремиться при проектировании, если это не идет вразрез с какими-либо особыми требованиями, предъявляемыми к тому или иному аппарату.

На рис. 23.1 показаны основные типовые конструктивные формы крышек, применяемых в химическом аппаростроении.

По способу присоединения крышки можно разбить на следующие три основных вида: фланцевые, бигельные и байонетные.

23.1. ФЛАНЦЕВЫЕ КРЫШКИ И ЛЮКИ

Наибольшее распространение в химических аппаратах получили фланцевые крышки и соответственно люки с фланцевыми крышками. Присоединение фланцевых крышек осуществляется закладными или откидными болтами с применением соответствующей обтяжки.

По конструкции фланцевые крышки делятся на плоские, сферические, эллиптические и цилиндрические.

Плоские фланцевые крышки

Плоские фланцевые крышки чаще всего имеют круглую форму, однако в ряде случаев находят применение фланцевые крышки прямоугольной формы, значительно реже — фасонной.

Круглые плоские фланцевые крышки рекомендуется применять:

в стальных сварных аппаратах, работающих под наливом, атмосферным давлением и небольшим вакуумом (с остаточным давлением ≥ 1000 Н/м²), при расположении крышки сверху, независимо от размеров ее, причем крышки больших размеров следует укреплять ребрами (см. п. 16.4);

* Люк — это узел аппарата, состоящий из определенной формы горловины, неразъемно соединенной с корпусом аппарата, в комплекте с крышкой и соответствующими устройствами и деталями, необходимыми для открытия, закрытия и уплотнения ее.

Продолжение табл. 23.1

$P_{гг}$, МН/м ²	$D_{гг}$	d	Типы заглушек				Масса, кг			
			1, 2 и 3	4	1	2		3	4	
			H							
0,25	25	22	10		0,40		0,26			
0,6			12	—	0,51	—	0,38			
1,0—2,5			16		0,67		0,50			
4,0			16		0,98	0,85	0,64			
6,4			22	25		1,76				
10			24			1,86		2,30		
16			28			2,28				
20			30			2,89				
0,25			32	28	10		0,57		0,38	
0,6					12		0,74	—	0,55	
1,0—2,5	16				0,91		0,68			
4,0	16				1,33	1,16	1,10			
6,4	22	25				2,12				
10	24					2,37		2,70		
16	30					3,13				
20	32					3,14				
0,25	40	36			12		0,82		0,68	
0,6					14		1,02	—	0,88	
1,0—2,5			16		1,24		1,05			
4,0			16		1,49	1,37	1,30			
6,4			24	25		2,94		3,30		
10			26		28		3,25		5,57	
16			32			4,18				
20			34			4,43				
0,25			50	46	12		0,98		0,82	
0,6					14		1,21	—	1,04	
1,0—2,5	18				1,55		1,31			
4,0	18				2,15	2,01	1,91			
6,4	26	30				3,73		4,55		
10	28				32		4,97		6,03	
16	38					7,14				
20	40					8,13				
0,25	65	60			12		1,23		1,12	
0,6					14		1,54	—	1,41	
1,0—1,6			14		2,04		1,73			

Продолжение табл. 23.1

$P_{гг}$, МН/м ²	$D_{гг}$	d	Типы заглушек				Масса, кг			
			1, 2 и 3	4	1	2		3	4	
			H							
2,5	65	60	16		2,29		2,10			
4,0			20	—	3,03		2,91	2,77		
6,4			28	32			5,19		6,21	
10			32		36		7,16		8,45	
16			45			10,6				
20			48			15,6				
0,25			80	76	12		1,78		1,49	
0,6					14		2,18		1,88	
1,0—1,6					18		2,44		2,07	
2,5					22		3,21		2,88	
4,0	22				4,08	3,83	3,75			
6,4	30	36				6,32		7,95		
10	34				40		8,55		10,5	
16	48					12,6				
20	52					21,4				
0,25	100	94			12		2,25		1,93	
0,6			14		2,75		2,42			
1,0			16		2,97		2,58			
1,6			16		3,51		3,18			
2,5			20		5,07		4,62			
4,0			24		6,27	6,03	5,82			
6,4			32	36		9,74		11,3		
10			38		45		13,1		16,1	
16			50			17,8				
20			63			40,4				
0,25	125	118	14		3,65		3,28			
0,6			16		4,30		3,86			
1,0—1,6			22		4,69		4,17			
2,5			22		7,83		5,73			
4,0			28		10,3	10,0	9,72			
6,4			36	40		15,7		17,9		
10			45		50		21,9		25,1	
16			60			30,0				
20			70			50,6				

Продолжение табл. 23.1

Продолжение табл. 23.1

r_y , Мн/м ²	D_y	d	Типы заглушек				Масса, кг			
			1, 2 и 3	4	1	2	3	4	Мм	
									Н	
0,25	150	142	14	—	4,58	—	4,13	—	—	—
0,6			16	—	5,38	—	4,87	—	—	—
1,0			—	—	6,07	—	5,44	—	—	—
1,6			18	—	6,99	—	6,36	—	—	—
2,5			21	—	11,0	—	10,2	—	—	—
4,0			30	—	14,1	13,7	13,3	—	—	—
6,4			40	45	—	23,4	—	—	—	27,5
10			52	56	—	32,3	—	—	—	35,4
16			70	—	—	44,4	—	—	—	—
20			85	—	—	81,4	—	—	—	—
0,25	200	195	14	—	7,03	—	6,40	—	—	
0,6			16	—	8,22	—	7,53	—	—	—
1,0			—	—	9,09	—	8,23	—	—	—
1,6			20	—	11,5	—	10,7	—	—	—
2,5			26	—	17,5	—	16,5	—	—	—
4,0			38	—	18,3	27,7	27,2	—	—	—
6,4			50	56	—	43,0	—	—	—	49,3
10			58	63	—	55,3	—	—	—	61,4
16			80	—	—	77,8	—	—	—	—
20			95	—	—	139	—	—	—	—
0,25	250	244	14	—	9,87	—	9,23	—	—	
0,6			16	—	11,5	—	10,6	—	—	—
1,0			18	—	14,3	—	13,2	—	—	—
1,6			24	—	19,7	—	19,6	—	—	—
2,5			30	—	28,9	—	27,5	—	—	—
4,0			45	—	48,5	47,6	46,9	—	—	—
6,4			58	63	—	67,7	—	—	—	74,9
10			65	70	—	87,1	—	—	—	95,6
16			90	—	—	123	—	—	—	—
20			120	—	—	277	—	—	—	—
0,25	300	294	16	—	14,9	—	13,5	—	—	
0,6			18	—	17,2	—	16,2	—	—	—
1,0			20	—	19,9	—	18,3	—	—	—
1,6			28	—	29,6	—	29,5	—	—	—
2,5			34	—	42,0	—	39,9	—	—	—
4,0			48	—	67,0	81,5	64,3	—	—	—
6,4			63	65	—	91,7	—	—	—	96,7
10			80	85	—	141	—	—	—	152
16			100	—	—	179	—	—	—	—

r_y , Мн/м ²	D_y	d	Типы заглушек				Масса, кг					
			1, 2 и 3	4	1	2	3	4	Мм			
									Н			
0,25	350	344	16	—	19,0	—	17,4	—	—	—		
0,6			18	—	21,8	—	19,9	—	—	—		
1,0			24	—	31,9	—	30,1	—	—	—		
1,6			32	—	44,2	—	44,5	—	—	—		
2,5			38	—	61,5	—	59,0	—	—	—		
4,0			50	—	88,9	87,2	85,8	—	—	—		
6,4			63	70	—	119	—	—	—	135		
10			85	95	—	191	—	—	—	224		
0,25			400	390	18	—	26,9	—	21,5	—	—	
0,6					20	—	30,3	—	28,9	—	—	—
1,0	26	—			44,4	—	42,1	—	—	—		
1,6	34	—			59,9	—	60,0	—	—	—		
2,5	40	—			81,1	—	77,9	—	—	—		
4,0	56	—			132	129	129	—	—	—		
6,4	70	75			—	170	—	—	—	179		
10	90	95			—	245	—	—	—	263		
0,25	500	490			20	—	44,4	—	31,9	—	—	
0,6					24	—	54,3	—	51,7	—	—	—
1,0			30	—	74,3	—	71,3	—	—	—		
1,6			40	—	103	—	108	—	—	—		
2,5			48	—	140	—	136	—	—	—		
4,0			70	—	219	216	—	—	—	—		
0,25			600	590	24	—	73,5	—	—	—	—	
0,6					28	—	87,2	—	—	—	—	—
1,0					34	—	119	—	—	—	—	—
1,6					45	—	162	—	—	—	—	—
2,5	50	—			195	—	—	—	—	—		
0,25	800	780			30	—	159	—	—	—	—	
0,6					34	—	182	—	—	—	—	—
1,0					42	—	242	—	—	—	—	—
1,6					52	—	300	—	—	—	—	—
2,5					63	—	409	—	—	—	—	—

Примечания:
 1. Пределы применения заглушек: по давлению — тип 1 $r_y \leq 4,0$ Мн/м², тип 2 $r_y = 4,0+20$ Мн/м², тип 3 $r_y \leq 4,0$ Мн/м², тип 4 $r_y = 6,4+10$ Мн/м²; по температуре среды: для $r_y \leq 2,5$ Мн/м² до 450° С, для $r_y \geq 4,0$ Мн/м² до 530° С.
 2. Материал см. в табл. 21.11 (для приварных фланцев с горловиной).
 3. Размеры уплотнительных поверхностей и значения h и h_2 см. в табл. 20.3.
 4. Значения $D_{ф}$, $D_{б}$, диаметр болтов d_b и их количество z см. в табл. 21.9.
 5. Значения h_1 : для $D_y \leq 250$ мм $h_1 = 2$ мм, для $D_y = 300+500$ мм $h_1 = 3$ мм, для $D_y \geq 600$ мм $h_1 = 3$ мм.

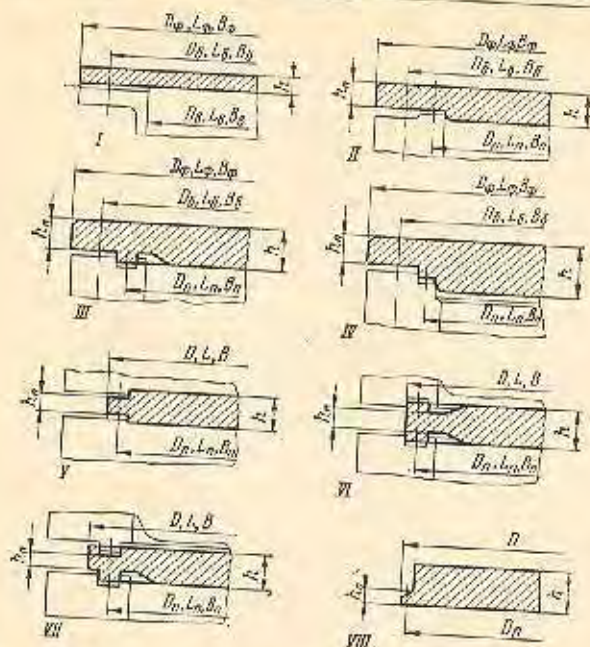


Рис. 23.2. Основные типовые конструкции плоских фланцевых крышек: I-IV — цельные круглые и прямоугольные фланцевые крышки; V-VII — вкладыши между фланцами круглых и прямоугольных крышек (заглушки); VIII — вкладыши круглых крышек для аппаратов высокого давления

для тех же условий, но при расположении крышки снизу или сбоку, для крышек $D_n \leq 400$ мм и гидростатического давления на крышку $< 0,1$ МПа/м², в стальных сварных аппаратах, работающих под избыточным давлением ≤ 10 МПа/м², для крышек $D_n \leq 400$ мм, независимо от расположения крышки;

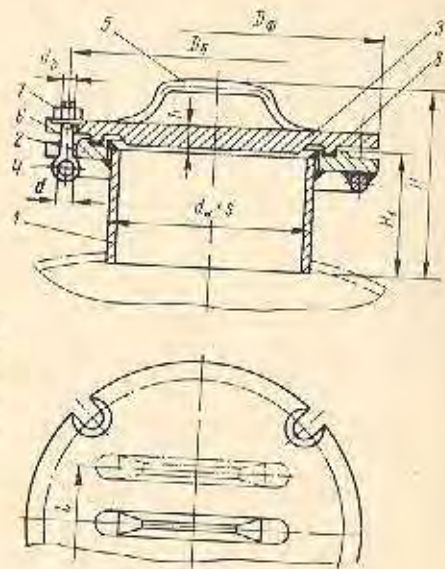


Рис. 23.3. Конструкция люка с плоской круглой фланцевой крышкой и окисляющими болтами для сварных стальных аппаратов на $P_n = 1,6$ МПа/м² (тип 8 по ОН 26-01-35-67).

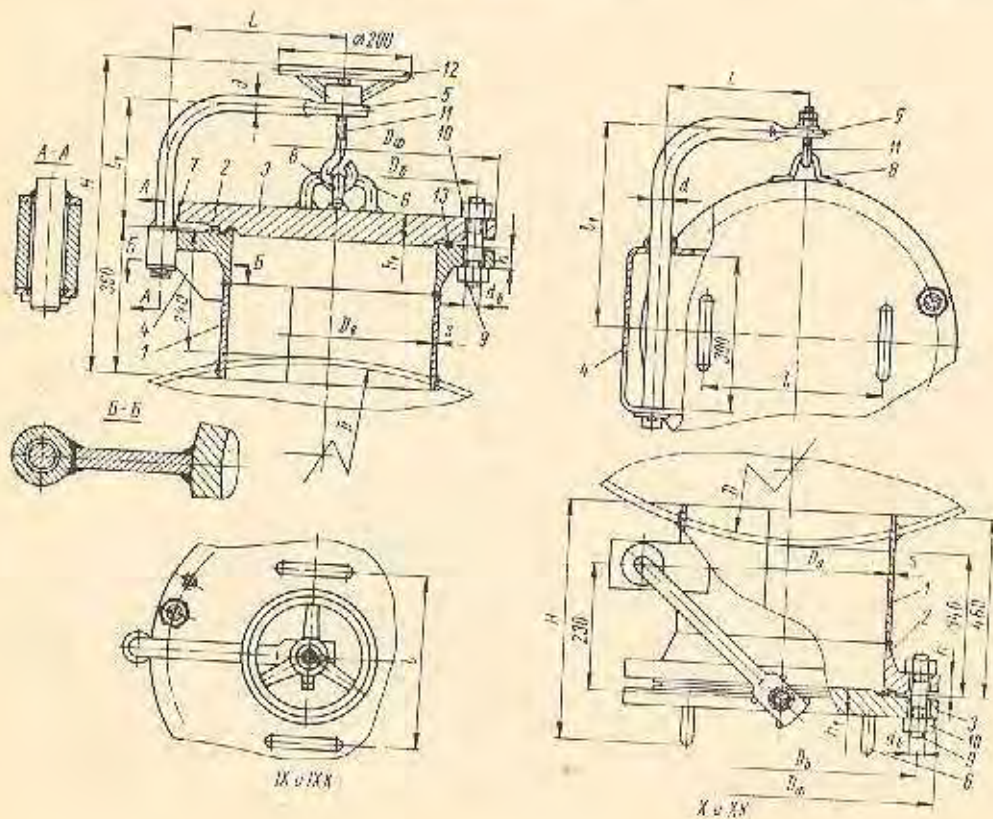


Рис. 23.4. Конструкция люка с плоской круглой фланцевой крышкой и подъемно-поворотным устройством для сварных аппаратов на $P_n = 4$ МПа/м² (тип IX, IХК, X и ХК по ОН 26-01-10-65).

Таблица 23.2

Люки с плоской круглой фланцевой крышкой и откидными болтами для сварных стальных аппаратов на $p_D = 1,6 \text{ МПа}$ (тип 3 по ОН 26-01-35-87)
Условное обозначение люка $D_D = 150 \text{ мм}$ для аппаратов из углеродистой стали (исполнение 1):
«Люк 3.150.1.6.1 ОН 26-01-35-87»

D_D	d_H	s	h	D_Φ	D_δ	H	H_1	d	Болты		Исполнение	
									d_θ	z	1	2
мм										Масса, кг		
50	57	3,5	6	160	125						4,0	4,03
80	89	4	8	195	160	160	110	14	M16	4	6,1	6,15
100	108		10	215	180						8,7	8,77
150	159	6	12	280	240	180	120	18	M18	8	13,9	14,0
250	273	11	20	405	355	190	130	20	M22	12	40,0	40,3

Примечания:
1. Конструкцию люков см. на рис. 23.3.
2. Люки предназначены для вертикальной установки. Исполнение 1 — для аппаратов из углеродистой стали, исполнение 2 — для аппаратов из коррозионностойкой стали.
3. Пределы применения люков в зависимости от температуры среды см. в табл. 23.4.
4. Материал для исполнения 1: детали 1 (обечайка); 2 (фланец); 3 (крышка); 4 (кошелек); 5 (ручка) — сталь марки Ст.3; 6 (болты откидные) — сталь марки Ст.5; 7 (гайки) — сталь марки Ст.4; 8 (прокладка) — в зависимости от среды.
Материал для исполнения 2: детали 1, 2 и 3 — сталь марки 0Х18Н10Т, остальные детали — материал такой же, как и для исполнения 1.
5. Люки $D_D \leq 150 \text{ мм}$ имеют одну ручку. Люки $D_D = 250 \text{ мм}$ имеют две ручки с расстоянием между ними $l = 160 \text{ мм}$.

Таблица 23.3

Люки с плоской круглой фланцевой крышкой и подъемно-поворотным устройством для сварных стальных аппаратов на $p_D = 4 \text{ МПа}$ (типы IX, IXK, X и XK по ОН 26-01-10-65)

Условное обозначение люка типа IX с $D_\delta = 400 \text{ мм}$: «Люк IX-4-400 ОН 26-01-10-65»

D_D	s	D	D_Φ	D_δ	h	h_1	d	l	Шпильки		Типы IX и IXK			Типы X и XK			Типы						
									d_θ	z	H	L	l_1	H	L	l_1	IX	IXK	X	XK			
мм										мм										Масса, кг			
400	12	900	610	540	50	63	36	250	M36	16	620	335	200	590	260	440	282	286	286	290			
500	16	1000	720	650	55	75	40	300		20	640	390	220	600	320	500	439	443	442	446			

Примечания:
1. Конструкцию люков см. на рис. 23.4.
2. Люки предназначены: типы IX и IXK — для вертикальной установки, типы X и XK — для горизонтальной установки. Типы IX и X — для аппаратов из углеродистой стали, типы IXK и XK — для аппаратов из коррозионностойкой стали.
3. Пределы применения люков в зависимости от температуры среды см. в табл. 23.4.
4. Материал для типов IX и X: детали 1 (обечайка), 2 (фланец), 3 (крышка), 4 (косынка, скоба), 5 (кронштейн), 6 (ручка), 7 (штулка) и 8 (ушко) — сталь марки Ст.3; 9 (шпилька) и 11 (тяга) — сталь марки 35; 10 (гайки) — сталь марки 25; 12 (механизм) — ступица марки СЧ 12-28; 13 (прокладка) — в зависимости от среды.
Материал для типов IXK и XK: детали 1, 2, 3 — сталь марки 0Х18Н10Т; 4 — 0Х18Н9Т, 10 — 4Х14Н14Б2М; остальные детали — такой же материал, как и для типов IX и X.
5. Размеры фланцев, диаметры крышек, а также размеры и количество шпилек и гаек приняты по МН 3075-82. При применении фланцев по ГОСТу 12832-87 и крышек по ГОСТу 12838-87 или по данным Гипронефтемаша материал, размеры, количество (шпилек и гаек) и масса этих деталей должны быть соответственно изменены.

в кованных и ковано-сварных аппаратах высокого давления при $p \geq 10 \text{ Мн/м}^2$, независимо от расположения и размеров крышки.

Прямоугольные фланцевые крышки, независимо от материала их и давления, большей частью выполняются плоскими. При повышенных давлениях среды и значительных размерах крышек их необходимо укреплять ребрами аналогично соответствующим днищам (см. п. 16.5).

Основные типовые конструкции плоских фланцевых крышек показаны на рис. 23.2. В табл. 23.1 приведены основные данные о стандартизованных стальных круглых плоских фланцевых крышках (заглушках), применяемых для штуцеров, арматуры и т. п.

Для штуцеров из двухслойной стали с $D_y = 100 + 500 \text{ мм}$ имеются нормы на заглушки с наплавленными уплотнительными поверхностями: гладкой на $p_y \leq 2,5 \text{ Мн/м}^2$ (МН 4586—63), с шипом на $p_y \leq 6,4 \text{ Мн/м}^2$ (МН 4587—63), с выступом на $p_y = 4,0 + 6,4 \text{ Мн/м}^2$ (МН 4588—63) и под прокладку овального сечения на $p_y = 6,4 \text{ Мн/м}^2$ (МН 4589—63).

На рис. 23.3 и 23.4 показаны конструкции нормализованных локот с плоскими фланцевыми крышками для сварных стальных аппаратов, а в табл. 23.2—23.4 — основные данные об этих локот.

Таблица 23.4

Пределы применения нормализованных стальных локот в зависимости от температуры среды (по ОН 26-01-10—65 и ОН 26-01-35—67)

$p_0, \text{ Мн/м}^2$	Температура среды, °С									
	<750		<300		<350		<400		<450 <500	
	Допускаемое рабочее давление, Мн/м ²									
	У	К	У	К	У	К	У	К	У	К
0,3	0,3	0,3	0,27	0,23	0,24	0,21	0,2	0,19	0,16	0,14
0,6	0,6	0,6	0,55	0,46	0,48	0,42	0,4	0,36	0,34	0,3
1,6	1,6	1,6	1,4	1,34	1,25	1,3	1,0	1,23	1,12	0,9
2,5	1,9	2,4	1,5	2,3	1,4	2,1	1,3	1,92	1,76	1,5
4,0	4,0	4,0	3,0	3,36	2,7	3,23	2,4	3,1	2,8	2,1

Примечание: У — для аппаратов из углеродистой стали, К — для аппаратов из коррозионностойкой стали.

Расчет круглых плоских фланцевых крышек, работающих под давлением

Расчет таких крышек состоит в определении высоты их в месте уплотнения и посередине, а также наружного диаметра.

Крышки аппаратов, работающих под избыточным давлением $< 10 \text{ Мн/м}^2$ (см. рис. 23.2), рассчитываются следующим образом.

Номинальная расчетная высота крышки в месте уплотнения h'_n в м (см) определяется по формулам:

для типов II—IV $\left[\frac{\text{ОН 26-01-13—65}}{\text{Н 1039—65}} \right]$

$$h'_n = K_1 \sqrt{\frac{P'_6}{\sigma_{из}}}, \tag{23.1}$$

для типов V—VIII [183]

$$h'_n = 0,38 D_n \sqrt{\frac{p}{\sigma_{из}}}, \tag{23.2}$$

Номинальная расчетная высота крышки посередине в м (см) определяется по формулам: для типа I — по формуле (16.35), в которой D принимается равным D_6 , а $K = 0,4$;

для типов II—IV $\left(\frac{\text{ОН 26-01-13—65}}{\text{Н 1039—65}} \right)$

$$h' = K_2 D_n \sqrt{\frac{p}{\sigma_{из}}}, \tag{23.3}$$

для типов V—VIII [183]

$$h' = 0,45 D_n \sqrt{\frac{p}{\sigma_{из}}}, \tag{23.4}$$

где P'_6 — расчетное усилие в болтах на растяжение (см. в гл. 21) в Мн (кгс);

D_n — средний диаметр уплотнения в м (см);

p — расчетное давление среды в Мн/м² (кгс/см²);

$\sigma_{из}$ — допускаемое напряжение на изгиб для материала крышки в Мн/м² (кгс/см²);

$K_1 = f\left(\frac{D_6}{D_n}\right)$ — коэффициент, определяемый по графику рис. 23.5;

$K_2 = f\left(\frac{D_6}{D_n}, \Psi\right)$ — коэффициент, определяемый по графику рис. 23.6;

$$\Psi = 1 + \frac{8b_0 k}{D_n};$$

b_0 — эффективная ширина прокладки (см. в гл. 20);

k — коэффициент прокладки (см. в табл. 20.28).

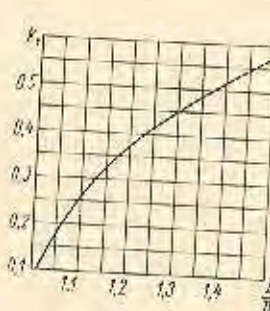


Рис. 23.5. Значения коэффициента K_1 в формуле (23.1)

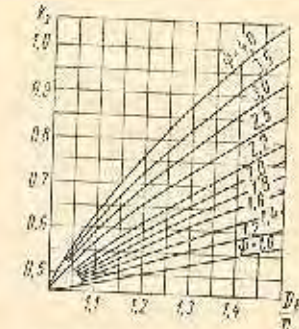


Рис. 23.6. Значения коэффициента K_2 в формуле (23.3)

При наличии в крышке на диаметре D_n отверстий в формулах (23.3) и (23.4) в знаменатель подкоренного выражения следует ввести коэффициент ослабления крышки отверстиями Φ_0 .

Значение этого коэффициента ослабления рекомендуется определять по формуле

$$\Phi_0 = \frac{D_n - \sum d}{D_n}, \tag{23.5}$$

где $\sum d$ — сумма диаметров отверстий в крышке на диаметре D_n (для привариваемых труб диаметром отверстия считается внутренний диаметр трубы).

Высоты крышек h и h_n с учетом прибавок определяют по формуле (15.10).

Расчетная высота крышки h'_n в м (см) аппаратов, работающих под давлением $p \geq 10 \text{ МПа/м}^2$ (рис. 23.7), определяется по формуле [163]

$$h'_n = 0,5 \sqrt{\frac{3,8P'_d(D_\phi - D_n) + D_n^2 p}{(D_\phi - 2d - \sum d_i) \sigma_{ад}}}, \quad (23.6)$$

где D_ϕ — наружный диаметр крышки в м (см);
 d — диаметр отверстий под шпильки в крышке в м (см);
 $\sum d_i$ — сумма диаметров отверстий в крышке на диаметре D_n в м (см);
 $\sigma_{ад}$ — допускаемое напряжение на изгиб для материала крышки определяется по формуле (14.5) с запасом прочности $n_T = 3,5$ в МПа/м^2 (кгс/см^2).

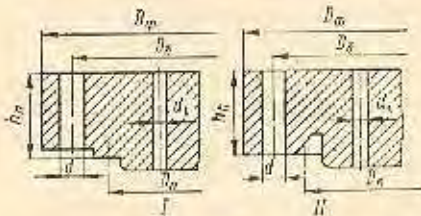


Рис. 23.7. Конструкция плоских фланцевых крышек для аппаратов высокого давления: I — с плоской прокладкой; II — с двухконусным обтюратором

Расчетные наружные диаметры крышек (см. рис. 23.2) определяются:

для типов I—IV — как для соответствующих фланцев (см. в гл. 21);
 для типов V—VIII — в соответствии с обтюрацией (см. в гл. 20).

При проверочных расчетах допускаемое избыточное давление p_d в МПа/м^2 (кгс/см^2) и допускаемое болтовое усилие P_{bd} в Мк (кгс) определяются по формулам:

для типов II—IV исходя из высоты крышки в месте уплотнения

$$P_{bd} \leq \frac{(h_n - C_k)^2 \sigma_{ад}^*}{K_1^2}; \quad (23.7)$$

исходя из высоты крышки посередине

$$P_d = \frac{(h - C_k)^2 \sigma_{ад}}{K_2^2 D_n^2}; \quad (23.8)$$

для типов V—VIII

исходя из высоты крышки в месте уплотнения

$$P_d = \frac{7,7 (h_n - C_k)^2 \sigma_{ад}^{**}}{D_n^2}; \quad (23.9)$$

исходя из высоты крышки посередине

$$P_d = \frac{4,95 (h - C_k)^2 \sigma_{ад}^{***}}{D_n^2}; \quad (23.10)$$

где h_n и h — высота крышки в месте уплотнения и посередине в м (см);

C_k — прибавка на коррозию в м (см).

* Получена из формулы (23.1).
 ** Получена из формулы (23.3).
 *** Получена из формулы (23.4).

Пример 23.1. Определить основные размеры плоской круглой фланцевой крышки (см. рис. 23.2, тип IV) по следующим данным: $D_\phi = 0,4 \text{ м}$; $D_n = 0,45 \text{ м}$; $D_b = 0,5 \text{ м}$; $P'_d = 1,06 \text{ МПа}$; $p = 3,0 \text{ МПа/м}^2$ (30 кгс/см^2); материал крышки — сталь ($\sigma_{ад} = 140 \text{ МПа/м}^2$); $C_k = 1 \text{ мм}$; крышка в средней части без отверстий; $d_b = M24 \text{ мм}$; $z = 24$; ширина паронитовой прокладки $b = 0,013 \text{ м}$. Определим высоту крышки в месте уплотнения.

Определяем коэффициент K_1 в формуле (23.1) по графику рис. 23.5, для $\frac{D_b}{D_n} = \frac{0,5}{0,45} = 1,11$ $K_1 = 0,29$.

Номинальную расчетную высоту крышки в месте уплотнения определяем по формуле (23.1)

$$h'_n = K_1 \sqrt{\frac{P'_d}{\sigma_{ад}}} = 0,29 \sqrt{\frac{1,06}{140}} = 0,0252 \text{ м}.$$

Принимаем прибавку на округление размера $C_0 = 0,8 \text{ мм}$.

Суммарную прибавку (при C_d и C_ϕ равным нулю) определяем по формуле (14.12)

$$C = C_k + C_0 = 1 + 0,8 = 1,8 \text{ мм}.$$

Высоту крышки в месте уплотнения определяем по формуле (15.10)

$$h_n = h'_n + C = 0,0252 + 0,0018 = 0,027 \text{ м}.$$

Определим высоту крышки посередине.

Определяем вспомогательную величину ψ для формулы (23.3); предварительно находим эффективную ширину прокладки из табл. 20.27 — $b_s = b = 0,013 \text{ м}$, а также коэффициент k для паронитовой прокладки из табл. 20.28 $k = 2,5$

$$\psi = 1 + \frac{8b_s k}{D_n} = 1 + \frac{8 \cdot 0,013 \cdot 2,5}{0,45} = 1,578.$$

Определяем коэффициент K_2 в формуле (23.3) по графику рис. 23.6, для $\frac{D_b}{D_n} = 1,11$ и $\psi = 1,578$ $K_2 = 0,52$.

Номинальную расчетную высоту крышки посередине определяем по формуле (23.3)

$$h' = K_2 D_n \sqrt{\frac{p}{\sigma_{ад}}} = 0,52 \cdot 0,45 \sqrt{\frac{3,0}{140}} = 0,0342 \text{ м}.$$

Принимаем прибавку на округление размера $C_0 = 0,8 \text{ мм}$.

Суммарную прибавку (при C_d и C_ϕ равным нулю) определяем по формуле (14.12)

$$C = C_k + C_0 = 1 + 0,8 = 1,8 \text{ мм}.$$

Высоту крышки посередине определяем по формуле (15.10)

$$h = h' + C = 0,0342 + 0,0018 = 0,036 \text{ м}.$$

Расчетный наружный диаметр крышки определяем по формуле (21.32), предварительно взяв из табл. 21.18 значение для болтов $d_b = M24$ $a = 0,045 \text{ м}$

$$D'_\phi = D_b + a = 0,5 + 0,045 = 0,545 \text{ м}.$$

Принимаем $D_\phi = 545 \text{ мм}$.

Расчет прямоугольных плоских фланцевых крышек, работающих под давлением (см. рис. 23.2, типы I—VII)

Номинальную расчетную высоту крышки посередине h' для типа I рекомендуется определять по формуле (15.71).

Номинальную расчетную высоту крышки в месте уплотнения h'_n в м (см) для других типов рекомендуется определять:

для типов II—IV — по формуле (21.50);
 для типов V—VII, рассматривая крышку как прямоугольную пластину, свободно опертую по периметру $2(L_n + B_n)$, равномерно нагруженную давлением p , по формуле*

$$h'_n = \frac{K_1 B_n p}{\tau_{\text{сд}}}, \quad (23.11)$$

где K_1 — коэффициент определяется по графику рис. 23.8;
 $\tau_{\text{сд}}$ — допускаемое напряжение на срез для материала крышки в Мн/м^2 (кгс/см^2).

Номинальную расчетную высоту крышки посередине h' в м (см) рекомендуется определять:
 для типов V—VII — исходя из рассмотрения крышки как прямоугольной пластины, свободно опертой по периметру $2(L_n + B_n)$, равномерно нагруженной давлением p по формуле

$$h' = B_n \sqrt{\frac{K_2 p}{\sigma_{\text{сд}}}}, \quad (23.12)$$

где K_2 — коэффициент определяется по графику рис. 23.8;
 для типов II—IV — приближенно, исходя из следующих рассуждений:

по сравнению с типами V и VII на крышку действует дополнительный изгибающий момент от затяга ее болтами. Усредненно указанный изгибающий момент M_u в $\text{Мн}\cdot\text{м/м}$ ($\text{кгс}\cdot\text{см/см}$), приходящийся на единицу длины средней линии уплотнения, будет

$$M_u = \frac{P'_0 l z}{2(L_n + B_n) z'}, \quad (1)$$

напряжение изгиба σ_u в Мн/м^2 (кгс/см^2) от этого момента в любом сечении крышки можно считать одинаковым и выразить величиной

$$\sigma_u = \frac{6 M_u}{h^3} = \frac{3 P'_0 l z}{(L_n + B_n) h^3 z'}, \quad (2)$$

где $l = 0,5(L_\sigma - L_n) = 0,5(B_\sigma - B_n)$ м (см).
 Значения остальных величин см. в формуле (21.50).
 Преобразуем формулу (23.12), заменив в ней $\sigma_{\text{сд}}$ на σ_u

$$\sigma_u = K_2 \frac{B_n^2}{h^3} p. \quad (3)$$

Суммарное напряжение посередине крышки от совместного действия давления и затяга болтов

$$\sigma_u = \frac{3 P'_0 l z}{(L_n + B_n) h^3 z'} + K_2 \frac{B_n^2}{h^3} p. \quad (4)$$

Заменив в (4) σ_u на $\sigma_{\text{сд}}$ и решая его относительно h' по формуле для определения номинальной расчетной высоты крышки посередине h' в м (см) для типов I—IV

$$h' = \sqrt{\frac{3 P'_0 l z}{(L_n + B_n) \sigma_{\text{сд}} z'} + K_2 \frac{B_n^2 p}{\sigma_{\text{сд}}}}. \quad (2)$$

При наличии в крышке отверстий в формулы (2) и (23.13) следует ввести коэффициент ослабления крышки отверстиями φ_n : в первой — в знаменатель подкоренного выражения, а во второй — в знаменатель второго подкоренного выражения.

Значение указанного коэффициента φ_n рекомендуется определять по формуле (23.5), заменив в ней D_n на диаметр отверстия d .
 Высоты крышек h_n и h' с учетом прибавок определяются по формуле (15.10).

Расчетные наружные размеры крышек l_ϕ и B_ϕ рис. 23.2 определяются: для типов I—IV — как для ответствующих фланцев (см. в гл. 21); для типов V—VII в соответствии с обратной (см. в гл. 20).

При мер 23.2. Определить основные размеры плоской прямоугольной фланцевой крышки (см. рис. 23.2) типа II к примеру 21.6 по следующим данным: материал крышки — сталь ($\sigma_{\text{сд}} = 140 \text{ Мн/м}^2$); крышка без отверстий; $C = 1 \text{ мм}$; $p = 0,1 \text{ Мн/м}^2$ (1 кгс/см^2).

Из примера 21.6 имеем: $P'_0 = 0,0425 \text{ Мн}$; $L_\sigma = 0,664 \text{ м}$; $B_\sigma = 0,464 \text{ м}$; $L_n = 0,62 \text{ м}$; $B_n = 0,42 \text{ м}$; $l_\phi = 112 \text{ мм}$; $z' = 11,5$; $z = 38$.

Высоту крышки и место уплотнения согласно примеру 21.6 принимаем $h_n = 14 \text{ мм}$.

Определим высоту крышки посередине.

Находим коэффициент K_2 в формуле (23.13) по графику рис. 23.8: для $\frac{L_n}{B_n} = \frac{0,62}{0,42} = 1,475$ [$K_2 = 0,46$].

Плечо изгибающего момента

$$l = 0,5(B_\sigma - B_n) = 0,5(0,464 - 0,42) = 0,022 \text{ м}.$$

Номинальную расчетную высоту крышки посередине определяем по формуле (23.13)

$$h' = \sqrt{\frac{3 P'_0 l z}{(L_n + B_n) \sigma_{\text{сд}} z'} + K_2 \frac{B_n^2 p}{\sigma_{\text{сд}}}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 0,0425 \cdot 0,022 \cdot 38}{(0,62 + 0,42) 140 \cdot 11,5} + 0,46 \frac{0,42^2 \cdot 0,1}{140}} = 0,011 \text{ м}.$$

С учетом прибавки и из конструктивных соображений высоту крышки посередине принимаем $h = 18 \text{ мм}$.

Расчетные наружные размеры крышки принимаем равными соответствующим размерам фланца согласно примеру 21.6: $l_\phi = 694 \text{ мм}$ и $B_\phi = 494 \text{ мм}$.

Сферические фланцевые крышки

Сферические фланцевые крышки рекомендуется применять в литых аппаратах для любого D_n независимо от давления среды;

в кованых аппаратах при $D_n \geq 600 \text{ мм}$.

В сварной аппаратуре такие крышки в настоящее время имеют ограниченное применение. Большей частью они заменены эллиптическими.

Основные типовые конструкции сферических фланцевых крышек показаны на рис. 23.9. Сварные крышки типов I и II состоят из сферического нештобортванного днища и фланца. Сферические нештобортванные днища для стальных аппаратов в этом случае следует выбирать по табл. 16.16.

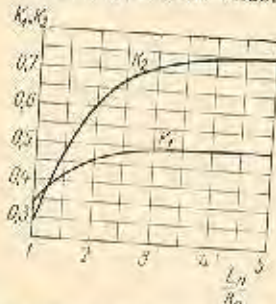


Рис. 23.8. Значения коэффициентов K_1 и K_2 в формулах (23.11) и (23.12)

Усредненно указанный изгибающий момент M_u в $\text{Мн}\cdot\text{м/м}$ ($\text{кгс}\cdot\text{см/см}$), приходящийся на единицу длины средней линии уплотнения, будет

* Получена из формулы $Q = K B_n p$ (максимальная перемещающая сила, приходящаяся на единицу длины сечения пластины) [108].

В табл. 23.5 приведены основные данные о стандартных медных тарельчатых (сферических) днищах (крышках), применяемых со свободными фланцами в медной аппаратуре.

Сферические фланцевые крышки отличаются относительно малой высотой по сравнению с эллиптическими и небольшой металлоемкостью по сравнению с плоскими крышками.

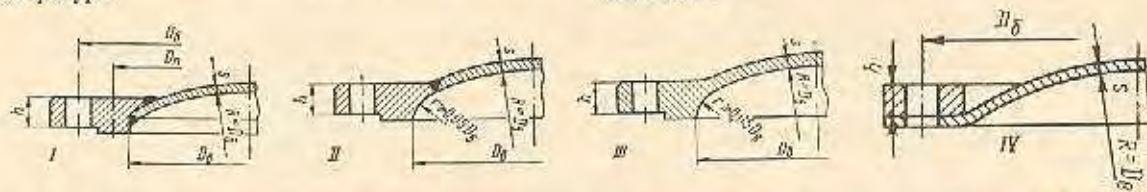


Рис. 23.9. Основные типовые конструкции сферических фланцевых крышек: I — сварные при $p_D < 2,5 \text{ Мн/м}^2$; II — сварные при $p_D > 2,5 \text{ Мн/м}^2$; III — кованные и литые; IV — тарельчатые (из меди) с накатными фланцами при $p_D < 0,3 \text{ Мн/м}^2$

Таблица 23.5

Фланцевые тарельчатые днища (крышки) из меди (тип I по ГОСТу 11972—66)

Условное обозначение днища с $D_δ = 500 \text{ мм}$ и $s = 3 \text{ мм}$:
«Днище 1—500—3 ГОСТ 11972—66»

$D_δ$	$k_δ$	$D_φ$	D_1	$F, \text{ м}^2$	$V \cdot 10^3, \text{ м}^3$	Толщина стенки $s, \text{ мм}$								
						2	2,5	3	3,5	4	4,5	5		
мм						Масса, кг								
300	40	410	420	0,075	1,44	2,5	3,1	—	—	—	—	—	—	—
350	47	460	470	0,103	2,10	3,1	3,9	4,6	—	—	—	—	—	—
400	53	510	520	0,135	3,36	3,8	4,7	5,7	—	—	—	—	—	—
450	60	560	575	0,169	4,86	4,6	5,8	6,9	—	—	—	—	—	—
500	67	610	630	0,210	6,73	5,5	6,9	8,3	—	—	—	—	—	—
550	74	660	680	0,225	9,03	6,5	8,1	9,7	—	—	—	—	—	—
600	80	710	735	0,303	11,5	7,5	9,4	11,3	—	—	—	—	—	—
650	87	760	790	0,355	14,8	8,7	10,9	13,1	—	—	—	—	—	—
700	93	810	840	0,408	17,3	9,9	12,3	14,8	17,3	—	—	—	—	—
750	100	860	890	0,471	22,5	11,1	13,8	16,6	19,4	—	—	—	—	—
800	107	910	940	0,539	27,5	12,3	15,4	18,5	21,6	—	—	—	—	—
850	113	960	995	0,608	32,6	13,8	17,3	20,8	24,2	—	—	—	—	—
900	121	1010	1050	0,682	40,0	15,4	19,3	23,1	27,0	—	—	—	—	—
950	128	1060	1100	0,757	46,7	—	21,1	25,4	29,6	33,8	—	—	—	—
1000	134	1115	1160	0,842	53,9	—	23,5	28,2	32,9	37,6	—	—	—	—
1100	147	1235	1280	0,974	71,3	—	28,6	34,4	40,1	45,8	—	—	—	—
1200	161	1335	1390	1,21	93,3	—	33,7	40,5	47,2	54,0	—	—	—	—
1300	174	1435	1490	1,52	118	—	—	46,6	54,3	62,1	69,8	—	—	—
1400	188	1535	1595	1,65	148	—	—	53,3	62,2	71,1	80,0	—	—	—
1500	201	1635	1700	1,89	180	—	—	60,6	70,7	80,8	90,9	—	—	—
1600	214	1735	1805	2,16	242	—	—	68,3	79,7	91,1	103	—	—	114,3
1800	241	1935	2015	2,73	314	—	—	85,1	99,3	114	128	—	—	142,5
2000	268	2135	2225	3,37	431	—	—	103	121	138	156	—	—	173

Примечания:
1. F — внутренняя поверхность днища, V — емкость днища, D_1 — диаметр развертки днища.
2. Днища предназначены для аппаратов, работающих при $p_D \leq 0,07 \text{ Мн/м}^2$ и t_c от минус 196 до плюс 250° С.
3. Материал днищ — медь марки М3 и М3С.

Расчет сферических фланцевых крышек, работающих под давлением (см. рис. 23.9)

Расчет таких крышек состоит в определении толщины сферической стенки и размеров фланца.
Номинальная расчетная толщина сферической стенки определяется по формулам табл. 15.10.
Определение размеров фланца см. в гл. 21.

Эллиптические фланцевые крышки

Эллиптические фланцевые крышки широко применяются в сварной и паяной аппаратуре, работающей под избыточным давлением. Диаметр таких крышек опреде-

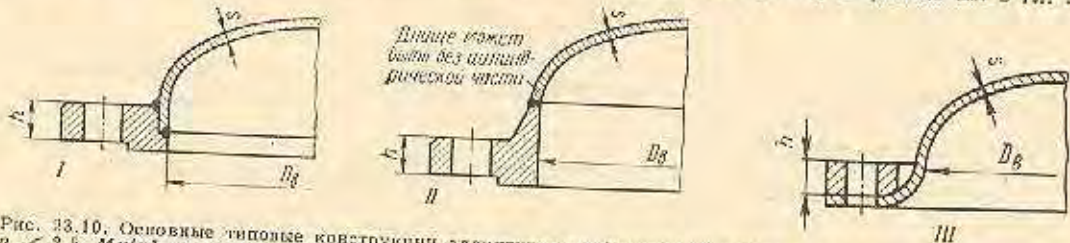


Рис. 23.10. Основные типовые конструкции эллиптических фланцевых крышек: I — сварные стальные при $p_d \leq 2,5 \text{ Мн/м}^2$ и из цветных металлов при $p_d \leq 0,6 \text{ Мн/м}^2$; II — сварные стальные при $p_d > 2,5 \text{ Мн/м}^2$ и из цветных металлов при $p_d > 0,6 \text{ Мн/м}^2$; III — из меди с накладными фланцами при $p_d \leq 0,3 \text{ Мн/м}^2$

ляется соответствующими стандартами и нормами на штампованные отбортованные эллиптические днища (см. в гл. 16), из которых образуется крышка с привариваемым или припаяваемым к ней фланцем.

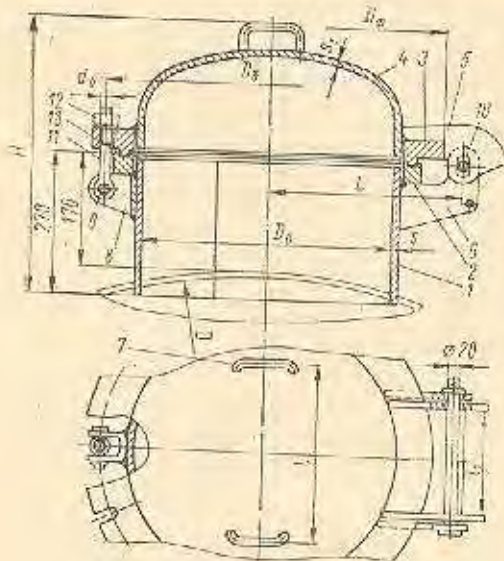


Рис. 23.11. Конструкция люков с эллиптической фланцевой крышкой, шарнирным устройством и отбортованными болтами для стальных аппаратов на $p_d \leq 1,0 \text{ Мн/м}^2$ (типы V и VK по ОН 26-01-10-65)

Основные типовые конструкции эллиптических крышек показаны на рис. 23.10.

В табл. 23.6 приведены основные данные о стандартизованных медных отбортованных эллиптических днищах (крышках), применяемых со свободными фланцами в медной сварной и паяной аппаратуре.

На рис. 23.11—23.14 показаны конструкции типовых люков с эллиптическими фланцевыми крышками для сварной стальной аппаратуры, а в табл. 23.7—23.10 — основные данные об этих люках.

Расчет эллиптических фланцевых крышек, работающих под давлением (см. рис. 23.10)

Расчет таких крышек состоит в определении толщины эллиптической стенки днища и размеров фланца.
Номинальная расчетная толщина эллиптической стенки определяется по формулам табл. 16.12.
Определение размеров фланца см. в гл. 21.

Цилиндрические фланцевые крышки

Цилиндрические фланцевые крышки, имеющие плоскую или угловую форму, применяются в основном как корпуса и т. п. для аппаратов, работающих под давлением, вакуумом и наливом.

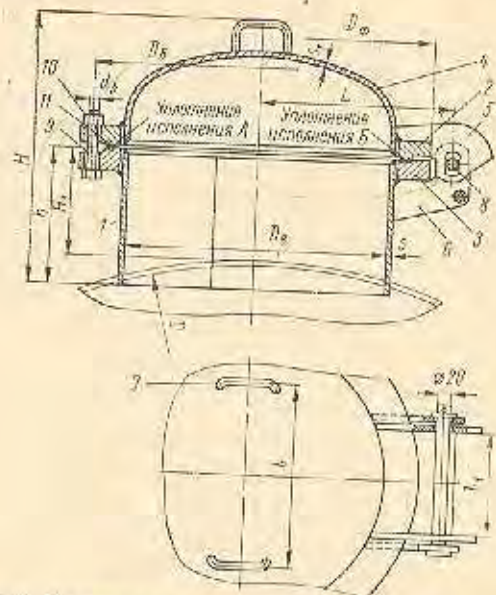


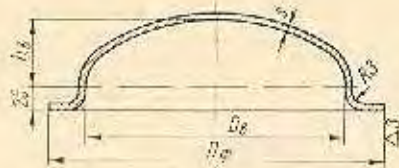
Рис. 23.12. Конструкции люков с эллиптической фланцевой крышкой и шарнирным устройством для стальных аппаратов на $p_d \leq 2,5 \text{ Мн/м}^2$ (типы II, IIK, VI и VIK по ОН 26-01-10-65)

Изготовление таких крышек производится с помощью сварки и отливкой.

На рис. 23.15 показаны основные типовые конструкции цилиндрических фланцевых крышек.

Таблица 23.6

Фланцевые эллиптические отбортованные днища (крышки) из меди
(тип 2 по ГОСТу 11972—66)



Условное обозначение днища с $D_ε = 500$ мм, $s = 3$ мм диаметром борта $D = 610$ мм:
«Днище 2—500—610 ГОСТ 11972—66»

$D_ε$	$h_ε$	$D_φ$	D_1	$F, м^2$	$V \cdot 10^3, м^3$	Толщина стенки $s, мм$									
						2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6		
мм						Масса, кг									
300	75	410	500	0,12	5,3	3,5	4,4	5,2	6,1	—	—	—	—	—	—
350	88	460	560	0,16	8,0	4,4	5,5	6,6	7,7	—	—	—	—	—	—
400	100	510	620	0,20	11,5	5,4	6,7	8,1	9,4	10,7	—	—	—	—	—
		530	640			—	—	8,6	9,9	—	—	—	—	—	—
450	112	560	675	0,25	15,8	6,4	8,0	9,5	11,1	12,7	—	—	—	—	—
		580	695			—	—	10,1	11,8	—	—	—	—	—	—
500	125	610	735	0,31	21,4	7,5	9,4	11,3	13,2	15,1	—	—	—	—	—
		630	755			—	—	11,9	13,9	—	—	—	—	—	—
550	137	660	805	0,37	27,6	9,1	11,3	13,6	15,8	18,1	20,4	—	—	—	—
		680	825			—	—	14,3	16,7	—	—	—	—	—	—
600	150	710	850	0,44	35,2	10,1	12,6	15,1	17,7	20,2	22,7	—	—	—	—
		730	870			—	—	15,9	18,5	—	—	—	—	—	—
650	162	760	910	0,51	44,2	11,6	14,5	17,4	20,2	23,1	26,0	—	—	—	—
		780	930			—	—	18,1	21,2	—	—	—	—	—	—
700	175	810	970	0,59	54,5	13,1	16,4	19,7	23,0	26,3	29,6	32,9	—	—	—
		830	990			—	—	20,5	24,0	—	—	—	—	—	—
750	187	840	1000	0,67	66,2	—	—	21,0	24,5	28,0	—	—	—	—	—
		860	1010			14,3	17,8	21,4	24,9	—	—	—	—	—	
800	200	880	1030	0,76	79,6	—	—	22,2	25,9	29,7	33,3	37,0	—	—	—
		890	1040			—	—	22,7	26,5	30,2	—	—	—	—	—
850	212	910	1085	0,86	96,8	16,5	20,6	24,7	28,8	—	—	—	—	—	—
		930	1105			—	—	25,6	29,9	34,1	38,4	42,7	—	—	—
900	225	960	1135	0,95	111	—	—	27,0	31,5	36,0	—	—	—	—	—
		980	1170			19,1	23,9	28,7	33,5	38,3	—	—	—	—	
950	237	1010	1190	1,06	132	—	—	29,7	34,6	39,6	44,5	49,5	59,4	—	—
		1030	1220			—	—	31,2	36,4	41,6	—	—	—	—	—
950	237	1060	1215	1,06	132	20,6	25,8	30,9	36,1	41,3	—	—	—	—	—
		1080	1235			—	—	32,0	37,3	42,6	48,0	53,3	64,0	—	—
950	237	1135	1265	1,06	132	—	—	33,6	39,1	44,7	—	—	—	—	—
		1135	1250			—	27,8	32,8	38,2	43,7	—	—	—	—	—
950	237	1080	1270	1,06	132	—	—	33,8	39,5	45,1	50,7	56,4	67,6	—	—
		1135	1325			—	—	36,8	42,9	49,0	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 23

D_a	h_a	D_{ϕ}	D_1	$F, м^2$	$V \cdot 10^3, м^3$	Толщина стенки $s, мм$							
						2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6
						Масса, кг							
1000	250	1115	1320	1,16	151	30,4	36,5	42,6	48,7	—	—	—	
		1135	1340				37,6	43,9	50,2	56,5	62,7	75,3	
		1185	1390				40,5	47,3	54,1	—	—	—	
1100	275	1235	1460	1,40	198	37,2	44,7	52,1	59,6	—	—	—	
		1285	1510				47,8	55,8	63,7	—	—	—	
1200	300	1335	1580	1,66	225	43,6	52,3	61,1	69,8	—	—	—	
		1340	1585				52,7	61,4	70,2	—	—	—	
		1385	1630				55,7	65,0	74,3	90,3	—	—	
1300	325	1435	1695	1,94	321	—	60,2	70,2	80,3	90,3	—	—	
1400	350	1535	1815	2,24	398	—	69,1	80,6	92,1	104	—	—	
1500	375	1635	1930	2,56	486	—	78,1	91,1	104	117	—	—	
1600	400	1735	2045	2,90	587	—	87,7	102	117	132	146	—	
1800	450	1935	2285	3,66	827	—	110	128	146	164	183	—	
2000	500	2135	2665	4,50	1124	—	149	174	199	223	248	—	

Примечания:
 1. F — внутренняя поверхность днища, V — емкость днища, D_1 — диаметр развертки днища.
 2. Днища предназначены для аппаратов, работающих при t_c от минус 196 до плюс 250°С и $p \leq 0,3$ МПа/м² в аппаратах $D_a \leq 1000$ мм и при $p \leq 0,1$ МПа/м² — в аппаратах $D_a > 1000$ мм.
 3. Материал днищ — медь марок МЗ и МЗС.

Люки с эллиптической фланцевой крышкой, шарнирным устройством и откидными болтами для стальных аппаратов на $p_H \leq 1,0$ МПа/м² (типы V и VK по ОН 26-01-10—65)

Таблица 23.7

Условное обозначение люка типа V $\ddagger D_a = 400$ мм, $p_H = 0,3$ МПа/м²:
 «Люк V—0,3—400 ОН 26-01-10—65»

$p_H, МПа/м^2$	D_a	D_{ϕ}	D_{δ}	D	s	s_1	L	l	l_1	H	Болты		Типы	
											d_B	z	V	VK
0,3	400	535	495	900	6	4	320	250	210	470	M20	12	57	58
	500	640	600	1000			370	300	180	500				
1,0	400	550	500	900	8	6	320	250	210	470	M24	12	59	71
	500	650	600	1000			370	300	180	500					16	100	102

Примечания:
 1. Конструкция люков см. на рис. 23.11.
 2. Люки предназначены для вертикальной и горизонтальной установки. Тип V — для аппаратов из угле родистой стали, тип VK — для аппаратов из коррозионностойкой стали.
 3. Пределы применения люков в зависимости от температуры среды см. в табл. 23.4.
 4. Материал для типа V: детали 1 (обечайка), 2 (кольцо), 3 (фланец), 4 (длинна), 5 (ребро), 6 (хвостик), 7 (ручки), 8 (кронштейн) — сталь марки Ст.3; 9 и 10 (оси) — сталь марки 45; 11 (болты откидные) — сталь марки 35; 12 (гайки) — сталь марки 25; 13 (прокладка) — в зависимости от среды.
 5. Материал для типа VK: детали 1, 2 и 4 — сталь марки Х18Н10Т; 3 — сталь марки Ст.3 с накладкой из стали марки Х18Н10Т; остальные детали — такой же материал, как и для типа V.

Таблица 23.8

Люки с эллиптической фланцевой крышкой и шарнирным устройством для стальных аппаратов на $p_H \leq 2,5 \text{ Мн/м}^2$ (типы II, IIK, VI и VIK по ОН 26-01-10-65)

Условное обозначение люка типа II исполнения А с $D_B = 400 \text{ мм}$; $p_H = 0,3 \text{ Мн/м}^2$: «Люк II-A-0,3-400 ОН 26-01-10-65»

$p_H, \text{ Мн/м}^2$	D_B	D_Φ	D_B	D	s	s_1	L	l	l_1	Н		H_1	h	Болты		Тяги			
										II и IIK	VI и VIK			d_B	z	II	IIK	VI	VIK
										мм										Масса, кг
0,3	400	510	475	≥ 800	4	4	310	250	70	430	480	130	230	M16	20	42	44	43	44
	500	620	580	≥ 1000			360	300	100	460	510			M20		61	64	64	65
	600	720	680	≥ 1200			410	300	120	530	570			M20		87	91	82	83
1,0	400	550	500	≥ 900	6	8	330	250	100	470	530	170	270	M24	16	73	76	83	84
	500	660	600	≥ 1000			380	300	120	500	—			M30		110	115	—	—
1,6	400	550*	500	≥ 900	8	8	330	250	100	470	540	170	270	M24*	16	100	105	91	92
2,5	400	560	500	≥ 900	8	8	330	250	100	530	530	—	—	M30	—	—	—	112	113

Примечания:

1. Конструкция люков см. на рис. 23.12.
2. Люки предназначены для вертикальной и горизонтальной установки. Типы II и VI — для аппаратов из углеродистой стали, типы IIK и VIK — для аппаратов из коррозионностойкой стали.
3. Пределы применения люков в зависимости от температуры среды см. в табл. 23.4.
4. Материал для типов II и VI: детали 1 (обечайка), 2 и 3 (фланцы), 4 (длинце), 5 (ребра), 6 (косынка), 7 (ручки) — сталь марки Ст.3; 8 (ось) — сталь марки 45; 9 (болты) — сталь марки 35; 10 (гайки) — сталь марки 25; 11 (прокладка) — в зависимости от среды.
5. Материал для типов IIK и VIK: детали 1, 2 (для типа VIK) и 3 — сталь марки X18H10T; 2 — сталь марки Ст.3 с накладками из стали марки X18H10T; остальные детали — такой же материал, как и для типов II и VI.
6. Размеры фланцев, а также диаметры и количество болтов и гаек приняты: для типов II и IIK по МН 3968-62, 3969-62, 3972-62, и для типов VI и VIK — по МН 3975-62. При применении фланцев по ГОСТу 1255-67 и ГОСТу 12832-67 или по данным Гипролестмаши материал, размеры, количество (болтов и гаек) и масса этих деталей должны быть соответственно изменены.

* Для типов II и IIK: $D_\Phi = 560 \text{ мм}$, с $d_B = \text{M30}$.

Таблица 23.9

Люки с эллиптической фланцевой крышкой и подъемно-поворотным устройством для стальных аппаратов на $p_H \leq 2,5 \text{ Мн/м}^2$ (типы III, IIIK, IV и IVK по ОН 26-01-10-65)

Условное обозначение люка типа III исполнения А с $D_B = 600 \text{ мм}$; $p_H = 1 \text{ Мн/м}^2$: «Люк III-A-1-600 ОН 26-01-10-65»

$p_H, \text{ Мн/м}^2$	D_B	s	s_1	D	D_Φ	D_B	H_1	d	l	Болты		Типы III и IIIK			Типы IV и IVK			Тяги			
										d_B	z	H	L	l_1	H	L	l_1	III	IIIK	IV	IVK
																		мм										Масса, кг
0,3	700	4	6	≥ 1400	820	780	150	32	400	M20	24	700	440	360	570	460	550	120	122	124	126
	600			≥ 1200	770	710			300			20	410	340	430	520	155	157	160	162	
1,0	700	8	8	≥ 1400	885	825	170	36	400	M30	24	740	475	380	590	490	580	219	223	225	229
	500			≥ 1000	680	600			300			20	640	360	310	510	380	470	144	146	148
1,6	600	10	10	≥ 1200	770	710	210	36	400	M36	24	700	410	340	570	430	520	184	188	190	194
	700			≥ 1400	890	825			300			20	780	475	380	650	490	580	299	305	304	310
2,5	500	8	10	≥ 1000	660	600	170	32	300	M30	20	640	360	310	510	380	470	153	157	157	161

Примечания:

1. Конструкция люков см. на рис. 23.13.
2. Люки предназначены: типы III и IIIK — для вертикальной установки; типы IV и IVK — для горизонтальной установки. Типы III и IV — для аппаратов из углеродистой стали, типы IIIK и IVK — для аппаратов из коррозионностойкой стали.
3. Пределы применения люков в зависимости от температуры среды см. в табл. 23.4.
4. Материал для типов III и IV: детали 1 (обечайка), 2 и 3 (фланцы), 4 (длинце), 5 (косынка), 6 (скоба), 7 (ручки), 8 (штулка), 9 (ушко) и 10 (кронштейн) — сталь марки Ст.3; 11 (болты) и 12 (гайки) — сталь марки 35; 13 (гайки) — сталь марки 25; 14 (маховик) — чугун марки СЧ 12-28; 15 (прокладка) — в зависимости от среды.
5. Материал для типов IIIK и IVK: детали 1 и 3 — сталь марки X18H10T; 2 — сталь марки Ст.3 с накладками из стали марки X18H10T; остальные детали — такой же материал, как и для типов III и IV.
6. Размеры фланцев, а также размеры и количество болтов и гаек приняты по МН 3969-62 и МН 3972-62. При применении фланцев по данным Гипролестмаши материал, размеры, количество (болтов и гаек) и масса этих деталей должны быть соответственно изменены.

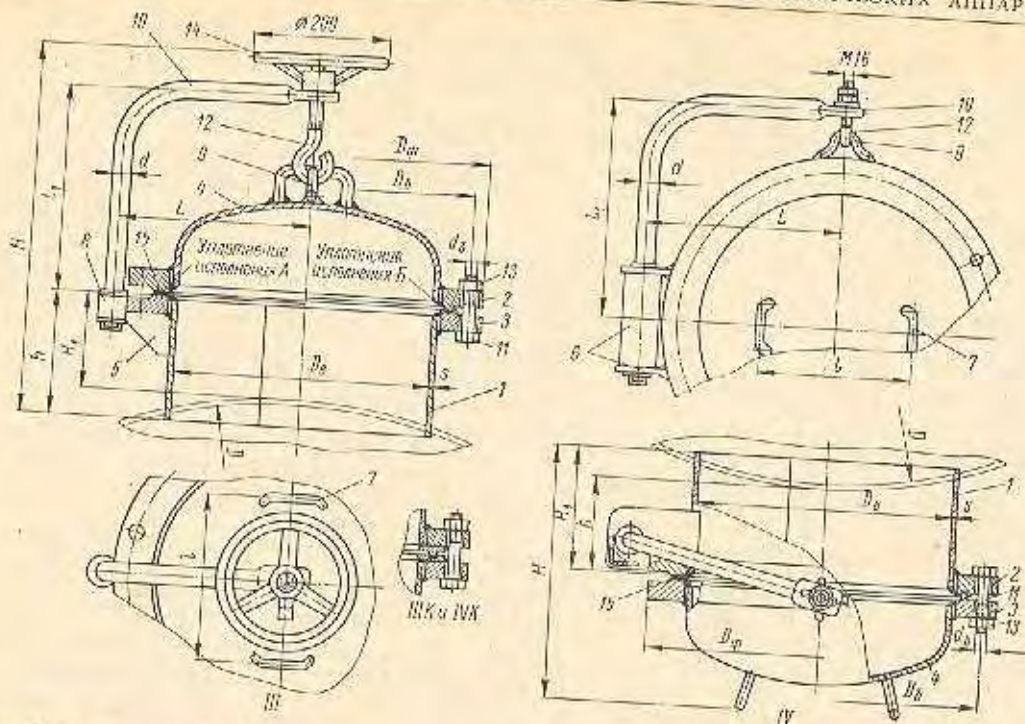


Рис. 23.13. Конструкция люков с эллиптической фланцевой крышкой и подъемно-поворотным устройством для стальных аппаратов на $p_d \leq 2,5 \text{ МПа}$ (табы III, IIIK; IV и IVK по ОН 26-01-10-65)

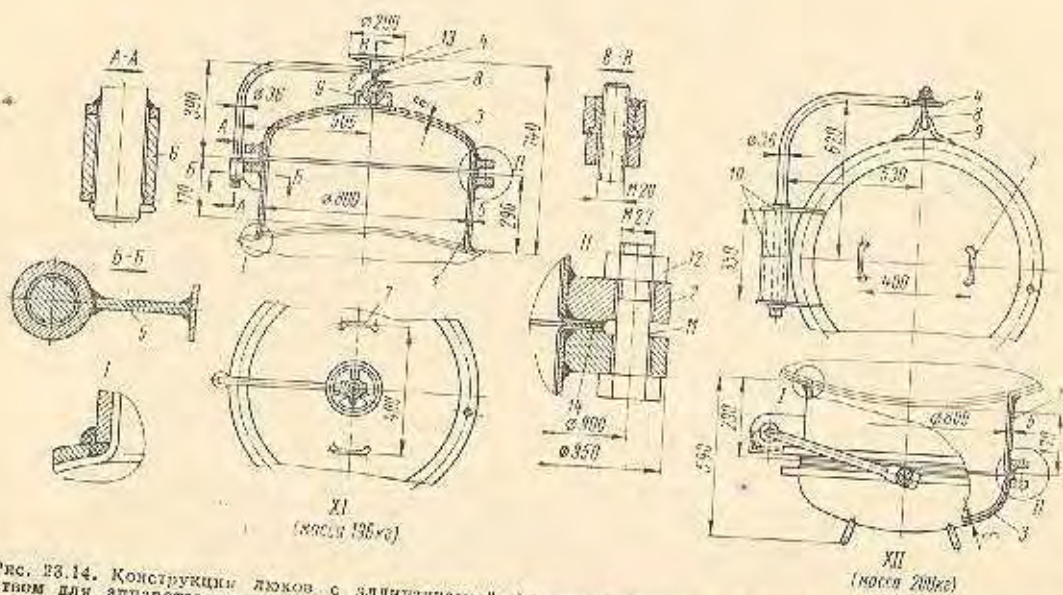


Рис. 23.14. Конструкции люков с эллиптической фланцевой крышкой и подъемно-поворотным устройством для аппаратов из углеродистой стали с внутренней химической защитой на $p_d \leq 0,6 \text{ МПа}$; тип XI — для вертикальной установки, тип XII — для горизонтальной установки (по ОН 26-01-10-65)

Расчет цилиндрических фланцевых крышек, работающих под давлением (рис. 23.15)

Расчет таких крышек состоит в определении толщины цилиндрической и плоской (торцевой) стенок ее, а также размеров фланца.

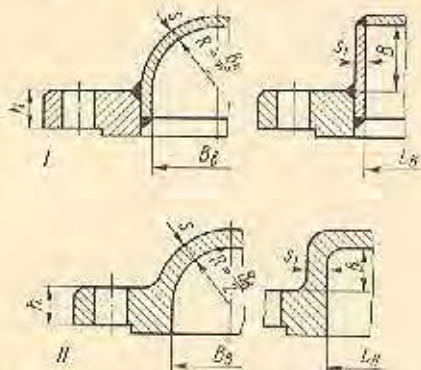


Рис. 23.15. Основные типовые конструкции фланцевых цилиндрических крышек: I — сварные; II — литые

Номинальная расчетная толщина цилиндрической стенки определяется по формулам табл. 15.6, а плоской торцевой — по формуле (15.71).

Определение размеров фланца см. в гл. 21.

23.2 БИГЕЛЬНЫЕ КРЫШКИ И ЛЮКИ

Бигельные крышки в химической аппаратуре применяются главным образом в тех случаях, когда их требуется часто и быстро открывать.

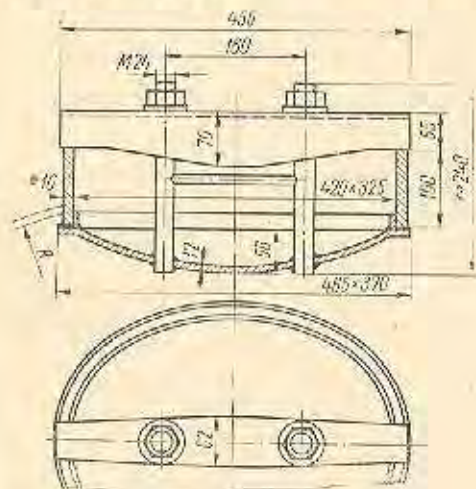


Рис. 23.16. Конструкция овального люка из углеродистой стали с внутренней съемной бигельной крышкой на $p_D < 0,8 \text{ МПа}$; масса 35,6 кг (тип VIII по МХ 43-56)

По конструкции бигельные крышки делятся на плоские, сферические и эллиптические, а по форме они бывают круглыми и прямоугольными, реже фасонными.

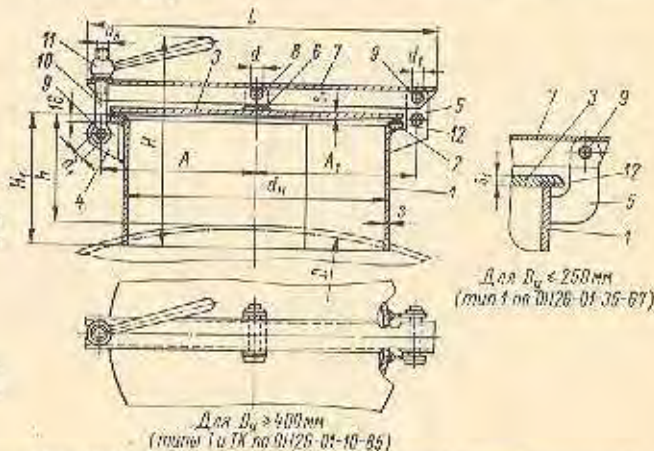
Область применения бигельных крышек ограничивается относительно небольшими давлениями и большей частью малыми размерами их.

По способу присоединения бигельные крышки бывают откидные, поворотные и съемные. Привязание крышек к горловинам люка осуществляется нажимным винтом или болтом с помощью бигеля. Круглые крышки обычно имеют один бигель, а прямоугольные и овальные целесообразно осуществлять с двумя бигелями, располагаемыми в поперечном направлении. При двух бигелях расстояние между ними рекомендуется принимать равным половине большего размера люка.

На рис. 23.16 показан нормализованный овальный люк из углеродистой стали с внутренней съемной фасонной бигельной крышкой с самоуплотнением.

Плоские бигельные крышки

Плоские бигельные крышки в химических аппаратах применяются преимущественно круглой, реже прямоугольной формы.



Для $D_D < 250 \text{ мм}$ (тип I по ОН 26-01-35-67)

Для $D_D > 400 \text{ мм}$ (типы I и IК по ОН 26-01-35-67)

Рис. 23.17. Конструкция люков с плоской круглой крышкой и бигельным прижимным устройством для стальных аппаратов, работающих под давлением и вакуумом (типы I и IК по ОН 26-01-10-65 и тип I по ОН 26-01-35-67)

На рис. 23.17 и 23.18 показаны конструкции нормализованных люков с плоскими круглыми крышками и бигельными прижимными устройствами для стальных аппаратов, а в табл. 23.10 и 23.11 приведены основные данные об этих люках.

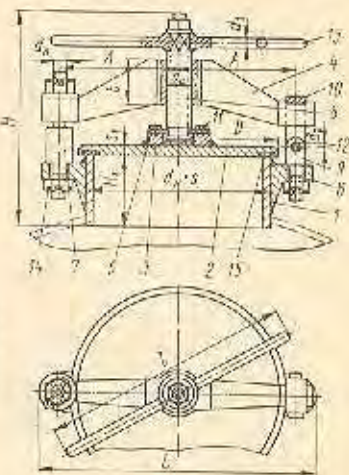


Рис. 23.18. Конструкция люков с плоской круглой крышкой и бигельным прижимным устройством для стальных аппаратов на $p_D < 0,6 \text{ МПа}$ (тип 2 по О 26-01-35-67)

Таблица 23.

Люки с плоской круглой крышкой и бигельным прижимным устройством для стальных аппаратов, работающих под наливом и вакуумом (с остаточным давлением ≥ 1300 $\mu/\text{м}^2$) (типы I и IK по ОН 26-01-10-65 и тип I по ОН 26-01-35-67)

Условное обозначение люка с $D_y = 400$ мм для аппаратов из углеродистой стали (тип I):
«Люк 1-0-400 ОН 26-01-10-65»

Условное обозначение люка с $D_y = 250$ мм для аппаратов из углеродистой стали (тип I, исполнение I):
«Люк 1.250.0.1 ОН 26-01-35-67»

D_y	d_n	s	s_1	D	D_1	s_2	Π	H_1	L	A	A_1	d	d_1	d_2	Исполнение *	
															У	К
мм																
50	57	3,5	≥ 400	68	100	6	170	80	118	45	45	10	10	M12	1,2	1,21
80	89	4		118		8	175	145	61	61	1,9				1,92	
100	108	6		170		12	230	170	72	72	2,5				2,52	
150	159	11	≥ 900	285	455	18	260	120	235	100	100	24	14	M16	6,0	6,04
250	273	4		455		8	330	180	240	260	18,3				18,4	
400	408	4		555		8	330	180	240	260	33,0				33,5	
500	508	4	≥ 1000	555	555	8	330	180	660	290	310	18	18	M20	44,0	44,5

Примечания:

1. Конструкция люков см. на рис. 33.17.
2. Люки предназначены для вертикальной установки. Люки $D_y = 400$ и 500 мм — по ОН 26-01-10-65 (тип I — для аппаратов из углеродистой стали, тип IK — для аппаратов из коррозионностойкой стали). Люки $D_y = 50; 250$ мм — по ОН 26-01-35-67 (тип I — исполнение I — из углеродистой стали, исполнение 2 — из коррозионностойкой стали).
3. Пределы применения люков: для $D_y = 400$ и 500 мм до $t_c \leq 200^\circ\text{C}$, для $D_y = 50-250$ мм — до $t_c \leq 250^\circ\text{C}$.
4. Материал люков для аппаратов из углеродистой стали: детали 1 (обечайка), 2 (кольцо), 3 (крышка), 4-6 (кронштейны) и 7 (бигель) — сталь марки Ст.3; 8 и 9 (оси) — сталь марки 45 (в люках $D_y = 400$ и 500 мм) и марки 35 (в люках $D_y = 50-250$ мм), 10 (болт оксидной) — сталь марки 35 (в люках $D_y = 400$ и 500 мм) и марки Ст.5 (в люках $D_y = 50-250$ мм), 11 (рукоятка) — сталь марки 25 (в люках $D_y = 400$ и 500 мм) и марки Ст.4 (в люках $D_y = 50-250$ мм), 12 (прокладка) — в зависимости от среды.

Материал для люков из коррозионностойкой стали: детали 1, 2 и 3 — сталь марки X18H10T; остальные детали — такой же материал, как и для люков из углеродистой стали.

* У — для аппаратов из углеродистой стали, К — для аппаратов из коррозионностойкой стали.

Таблица 23.11

Люки с плоской круглой крышкой и бигельным прижимным устройством для стальных аппаратов на $p_y = 0,6$ $\text{Мн}/\text{м}^2$ (тип 2 по ОН 26-01-35-67)

Условное обозначение люка $D_y = 150$ мм для аппаратов из углеродистой стали (исполнение I):
«Люк 2.150.06.1 ОН 26-01-35-67»

D_y	d_n	s	s_1	D	A	b	L	I	Π	H_1	d_2	d_3 (тран)	d_1	d_2	Исполнение	
															1	2
мм																
50	57	3,5	8	65	57,5	20	140	145	230	80	M12	16×4	10	10	2,1	2,15
80	89	4	10	100	82,5	30	190	160	240	100	M16	20×4	12	12	3,4	3,45
100	108	6	12	130	85	40	205	200	275		M20	24×5	14	14	6,2	6,3
150	159	11	20	180	115	45	267	230	295	120	M24	30×6	18	16	12,9	13,0
250	273	8	28	295	175	55	415	380	380		M30	38×6	20	20	30,0	30,2
400	416	8	50	445	266	90	505	600	440	130		48×8	30	30	105	106

Примечания:

1. Конструкция люков см. на рис. 23.18.
2. Люки предназначены для вертикальной установки.
3. Пределы применения люков в зависимости от температуры среды см. в табл. 23.4.
4. Материал для исполнения I: детали 1 (обечайка), 2 (крышка), 3 (бобышка), 4 (бигель), 5 (полунябы), 6 (ухо) — сталь марки Ст.3, 7 (стойка), 8 (винт прижимной), 9 (вилка), 10 (серьга), 11 (болт) — сталь марки Ст.5, 12 (ось) — сталь марки 35, 13 (рукоятка), 14 (гайка) — сталь марки Ст.4; 15 (прокладка) — в зависимости от среды.

Материал для исполнения 2: детали 1 и 2 — сталь марки X18H10T; остальные детали — такой же материал, как в исполнении I.

Расчет круглых плоских бигельных крышек

Расчет таких крышек состоит в определении толщины их в месте уплотнения s_n и посередине s .

Номинальная расчетная толщина крышки в месте уплотнения (по среднему диаметру его D_n) s'_n в м (см), рассматривая ее как круглую пластину свободно опертую по контуру и нагруженную в центре болтовым усилием P'_b по площади круга диаметром d , определяется по формуле *

$$s'_n = 0,409 \sqrt{(2 - \beta^2) \frac{P'_b}{\sigma_{ad}}}, \quad (23.14)$$

Номинальная расчетная толщина крышки посередине s' в м (см), рассматривая ее так же, как и в предыдущем случае, определяется по формуле **

$$s' = 0,565 \sqrt{(1,5 - 0,262\beta^2 - 1,95 \ln \beta) \frac{P'_b}{\sigma_{ad}}}, \quad (23.15)$$

где P'_b — расчетное болтовое усилие на крышку, требуемое для восприятия давления среды и обеспечения герметичности соединения, определяется в зависимости от оборота и давления (см. в гл. 20 и 21) в Мн (кгс);

σ_{ad} — допустимое напряжение на изгиб для материала крышки в Мн/м² (кгс/см²);

$$\beta = \frac{D_n}{d};$$

d — диаметр круга, по которому действует усилие P'_b ; если последнее распределено не по кругу, а по прямоугольнику, вместо d рекомендуется в пределах допустимой погрешности принимать полусумму двух сторон прямоугольника в м (см).

Расчет прямоугольных плоских бигельных крышек

Расчет таких крышек состоит в определении высоты их в месте уплотнения h_n и посередине h .

Номинальная расчетная высота крышки посередине h' в м (см), рассматривая ее как прямоугольную пластину, свободно опертую по средней линии уплотнения и нагруженную в центре болтовым усилием по площади круга диаметром d , определяется по формуле ***

$$h' = 0,69 \sqrt{\left(1,3 \ln \frac{B_n}{d} + k + 1\right) \frac{P'_b}{\sigma_{ad}}}, \quad (23.16)$$

где $k = \frac{0,914}{1 + 1,6\beta^2} - 0,6$; $\beta = \frac{B_n}{L_n}$,

d — диаметр круга в центре крышки, по которому действует усилие P'_b ; если последнее распределено не по кругу, а по прямоугольнику, вместо d рекомендуется в пределах допустимой погрешности принимать полусумму двух сторон прямоугольника в м (см).

* Получена из формулы $\sigma = 0,525 (2 - \beta^2) p \left(\frac{d}{2s_n}\right)^2$ [183]

путем подстановки в нее вместо $p = \frac{4P'_b}{\pi d^2}$ и решения уравнения относительно s_n .

** Получена из формулы $\sigma = (1,5 - 0,262\beta^2 - 1,95 \ln \beta) p \times \left(\frac{d}{2s}\right)^2$ [183] путем подстановки в нее вместо $p = \frac{4P'_b}{\pi d^2}$ и решения уравнения относительно s .

*** Получена из формулы 35) раздела I, пп. IV [108].

Высота крышки посередине с учетом прибавок определяется по формуле (15.10).

Высоту крышки в месте уплотнения h_n рекомендуется принимать из конструктивных соображений, но не менее чем 0,75 h .

Номинальную расчетную высоту крышки с двумя бигелями рекомендуется приблизительно определять по формуле (23.16), условно расчленив крышку на две половины и рассматривая каждую из них как самостоятельную крышку с одним бигелем. В этом случае в формуле (23.16) вместо P'_b следует подставлять $0,5P'_b$, а вместо B_n — меньшее из значений $0,5L_n$ или B_n . Величина β принимается: при $B_n \geq 0,5L_n$ $\beta = \frac{L_n}{2B_n}$; при $B_n < 0,5L_n$ $\beta = \frac{2B_n}{L_n}$.

Наружные размеры крышек принимаются из конструктивных соображений.

Сферические и эллиптические бигельные крышки

Сферические бигельные крышки применяются в основном в литых конструкциях, а эллиптические в виде соответствующих дниц (крышек) — в сварных конструкциях. Расчет таких крышек состоит в определении толщины их стенок.

Приближенно номинальную расчетную толщину стенки сферической или эллиптической бигельной крышки рекомендуется определять по формулам табл. 16.13, условно считая их равномерно нагруженными снаружи давлением

$$p_n = \frac{4P'_b}{\pi D_n^2} \text{ в Мн/м}^2 \text{ (кгс/см}^2\text{)}.$$

Посередине крышки, в месте действия нагрузки от винта или бигеля, снаружи следует предусматривать круглую бобышку (в литых конструкциях) или накладку (в сварных конструкциях) толщиной не менее толщины стенки крышки и диаметром не менее 0,3 диаметра крышки. При применении накладок она должна быть жестко соединена со стенкой крышки.

Бигельное устройство

Конструкция бигельных устройств для плоских (круглых и прямоугольных), сферических или эллиптических крышек принципиально одинакова и может отличаться только формой бигеля, который в сферических и эллиптических крышках целесообразно выполнять в виде скобы, огибающей крышку.

Основные типовые конструкции бигельных устройств показаны на рис. 23.16—рис. 23.18.

Конструкция бигельного устройства, предназначенного для прижатия плоской прямоугольной крышки (с двумя бигелями), показана на рис. 23.19.

Расчет деталей бигельных устройств на прочность следует производить по общеизвестным формулам сопротивления материалов и деталей машин на основную нагрузку P'_b , действующую посередине крышки.

При проектировании бигельных устройств необходимо стремиться к возможно меньшему расстоянию между осями шарниров A .

Пример 23.3. Определить основные размеры плоской прямоугольной крышки и бигельного устройства к ней (см. рис. 23.19) к примеру 21.1 по следующим данным: материал крышки, крошечной и скобы — сталь марки Ст.3 ($\sigma_{ad} = \sigma_{ad} = 140$ Мн/м²); бигеля, болта и

осей — сталь марки Ст.5 ($\sigma_d = \sigma_{уд} = 180 \text{ Мн/м}^2$, для болта $\sigma_d = 140 \text{ Мн/м}^2$); $C \approx 1,5 \text{ мм}$.

Из примера 21.1 имеем: $P'_0 = 0,0425 \text{ Мн}$; $L_n = 0,62 \text{ м}$; $B_n = 0,42 \text{ м}$.

Принимаем наружные размеры крышки равными наружным размерам уплотнения $L = L_{пн} = 0,64 \text{ м}$ и $B = B_{пн} = 0,44 \text{ м}$.

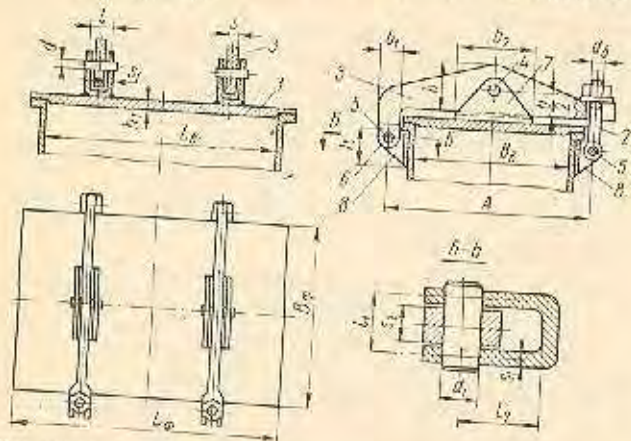


Рис. 23.13. Конструкция плоской прямоугольной крышки с двумя бигельными устройствами:

1 — крышка; 2 — откидной болт; 3 — бигель; 4 — средний шарнирный вал; 5 — крайние шарнирные валы; 6 — серьга бигеля; 7 — скоба; 8 — кронштейн

Рассчитаем откидной болт 2. Расчетная площадь поперечного сечения по внутреннему диаметру резьбы болта

$$F'_0 = \frac{P'_0}{4\sigma_d} = \frac{0,0425}{4 \cdot 140} = 0,758 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Принимаем по табл. 21.1 ближайший больший болт М14 ($F_0 = 1,02 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$).

Рассчитаем бигель 3. Изгибающий момент при $A = 0,46 \text{ м}$

$$M_n = \frac{P'_0 A}{2 \cdot 4} = \frac{0,0425 \cdot 0,46}{2 \cdot 4} =$$

$$= 0,00244 \text{ Мн} \cdot \text{м} \text{ (24 400 кгс} \cdot \text{см)}.$$

Расчетный момент сопротивления в средней части бигеля

$$W' = \frac{M_n}{\sigma_{уд}} = \frac{0,00244}{180} = 13,55 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Расчетная толщина бигеля при $\frac{b}{s} = 5$

$$s' = \sqrt[3]{\frac{6W'}{25}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 13,55 \cdot 10^{-6}}{25}} =$$

$$= 14,8 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 14,8 \text{ мм}.$$

Принимаем $s = 15 \text{ мм}$, $b = 75 \text{ мм}$.

Рассчитаем средний шарнирный вал 4.

Изгибающий момент при конструктивно выбранных $s_1 = 6 \text{ мм}$ и $l = 22 \text{ мм}$

$$M_n = \frac{P'_0 l}{2 \cdot 4} =$$

$$= \frac{0,0425 \cdot 0,022}{2 \cdot 4} = 0,000117 \text{ Мн} \cdot \text{м} \text{ (1170 кгс} \cdot \text{см)}.$$

Расчетный диаметр валика

$$d' = \sqrt[3]{\frac{M_n}{0,1\sigma_{уд}}} = \sqrt[3]{\frac{0,000117}{0,1 \cdot 180}} = 0,0255 \text{ м}.$$

Принимаем $d = 26 \text{ мм}$.

Рассчитаем крайние шарнирные валики 5. Изгибающий момент при конструктивно выбранных $s_1 = 6 \text{ мм}$, $s_2 = 14 \text{ мм}$, $l_1 = 21 \text{ мм}$

$$M_n = \frac{P'_0 l_1}{4 \cdot 4} =$$

$$= \frac{0,0425 \cdot 0,021}{4 \cdot 4} = 0,0000558 \text{ Мн} \cdot \text{м} \text{ (558 кгс} \cdot \text{см)}.$$

Расчетный диаметр валика

$$d'_1 = \sqrt[3]{\frac{M_n}{0,1\sigma_{уд}}} = \sqrt[3]{\frac{0,0000558}{0,1 \cdot 180}} = 0,0146 \text{ м}.$$

Принимаем $d_1 = 15 \text{ мм}$.

Рассчитаем серьгу 6 бигеля.

Ширина серьги при $s_0 = 14 \text{ мм}$ и $d_1 = 15 \text{ мм}$

$$b'_1 = \frac{P'_0}{4s_0\sigma_d} + d_1 = \frac{0,0425}{4 \cdot 0,014 \cdot 180} + 0,015 = 0,0172 \text{ м}.$$

Принимаем $b_1 = 18 \text{ мм}$.

Рассчитаем скобу для бигеля на крышке 7. Напряжение на смятие в отверстии под валик

$$\sigma_c = \frac{P'_0}{2d_2s_1} =$$

$$= \frac{0,0425}{2 \cdot 0,026 \cdot 2 \cdot 0,006} = 68 \text{ Мн/м}^2 \text{ (680 кгс/см}^2\text{)}.$$

Рассчитаем кронштейны 8 для бигеля и откидного болта. Изгибающий момент при конструктивно выбранном $l_2 = 18 \text{ мм}$

$$M_n = \frac{P'_0 l_2}{4} = \frac{0,0425 \cdot 0,018}{4} =$$

$$= 0,000191 \text{ Мн} \cdot \text{м} \text{ (1910 кгс} \cdot \text{см)}.$$

Расчетный момент сопротивления кронштейна у стенки люка

$$W' = \frac{M_n}{\sigma_{уд}} = \frac{0,000191}{140} = 1,36 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Высота кронштейна при $s_1 = 6 \text{ мм}$

$$h' = \sqrt[3]{\frac{6W'}{2s_1}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 1,36 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 0,006}} = 0,026 \text{ м}.$$

Принимаем $h = 30 \text{ мм}$.

Рассчитаем крышку 1

$$\beta = \frac{L_n}{2B_n} = \frac{0,62}{2 \cdot 0,42} = 0,74;$$

$$k = \frac{0,914}{1 - 1,6\beta^5} - 0,6 =$$

$$= \frac{0,914}{1 - 1,6 \cdot 0,74^5} - 0,6 = 0,074.$$

Конструктивно принимаем $b_2 = 120 \text{ мм}$.

Нагрузка на крышку распределяется по площади прямоугольника $b_2 \times (l + s_1)$, полуторная часть которого составит $(b_2 + l + s_1) \cdot 0,5$.

Расчетную толщину крышки посередине определяем по формуле (23.15)

$$h'_1 = 0,69 \sqrt{\left[1,3 \ln \frac{0,5 L_n}{0,5 (b_2 + l + s_1)} + k + 1 \right] \frac{P'_6}{20 \sigma_d}} = 0,69 \sqrt{\left[1,3 \ln \frac{0,5 \cdot 0,62}{0,5 (0,12 + 0,022 + 0,006)} + 0,074 + 1 \right] \frac{0,0125}{2 \cdot 140}} = 0,0146 \text{ м.}$$

С учетом прибавки C принимаем $h_1 = 16 \text{ мм}$.

23.3 БАЙОНЕТНЫЕ КРЫШКИ И ЛЮКИ

Байонетные крышки, так же как и бигельные, применяются в тех случаях, когда требуется часто и быстро открывать их. В отличие от бигельных, байонетные крышки бывают только круглой формы и, кроме того, они могут применяться для значительно больших давлений, чем бигельные, при внутренних диаметрах крышек до 3000 мм и выше.

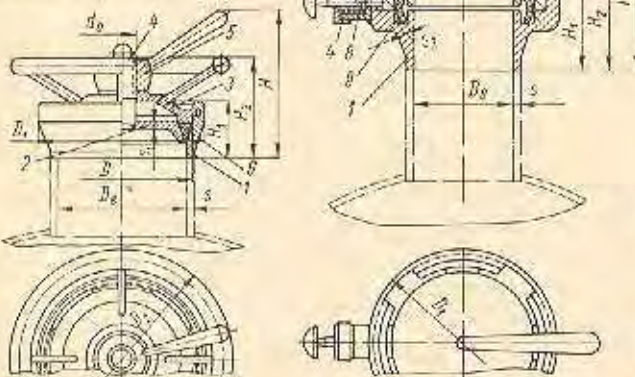


Рис. 23.20. Конструкция круглых люков с байонетным затвором и поджимным винтом для стальных аппаратов на $p_d = 1,6 \text{ МПа}$ (тип 4 по ОН 26-01-35-87)

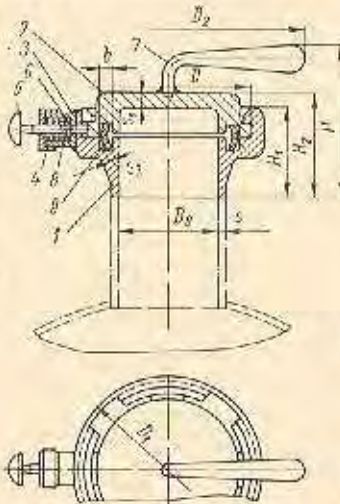


Рис. 23.21. Конструкция круглых люков с байонетным затвором для стальных аппаратов на $p_d = 1,6 \text{ МПа}$ (тип 6 по ОН 26-01-35-87)

На рис. 23.20 и 23.21 показаны конструкции нормализованных люков с байонетными затворами, а в табл. 23.12 и 23.13 — основные данные об этих люках.

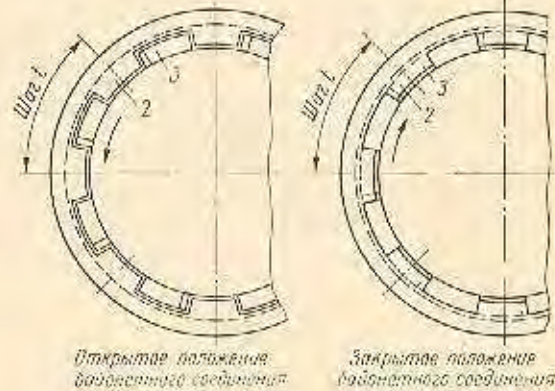
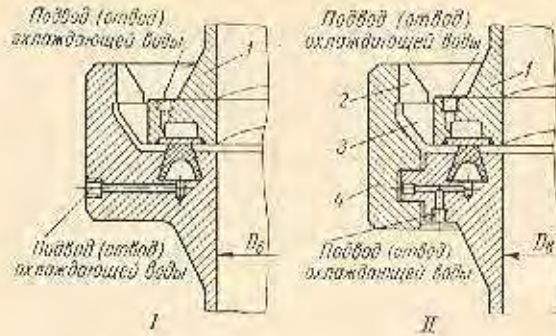


Рис. 23.22. Основные типовые конструкции байонетных соединений, применяемых в химических аппаратах: I — с поворотом крышки; II — с поворотом байонетного кольца; 1 — крышка; 2 — внутренний зуб; 3 — наружный зуб; 4 — байонетное кольцо (из двух половинок)

Байонетные крышки со специальным резиновым уплотнением широко применяются в химических аппаратах, работающих под избыточным давлением $p_d \leq 1,6 \text{ МПа}$ или вакуумом при температуре до 200°C .

На рис. 23.22 показаны основные типовые конструкции байонетных соединений для таких крышек, принцип действия которых ясен из рисунка.

Конструкция и размеры резиновых уплотнительных колец в этих соединениях приведены в табл. 23.14.

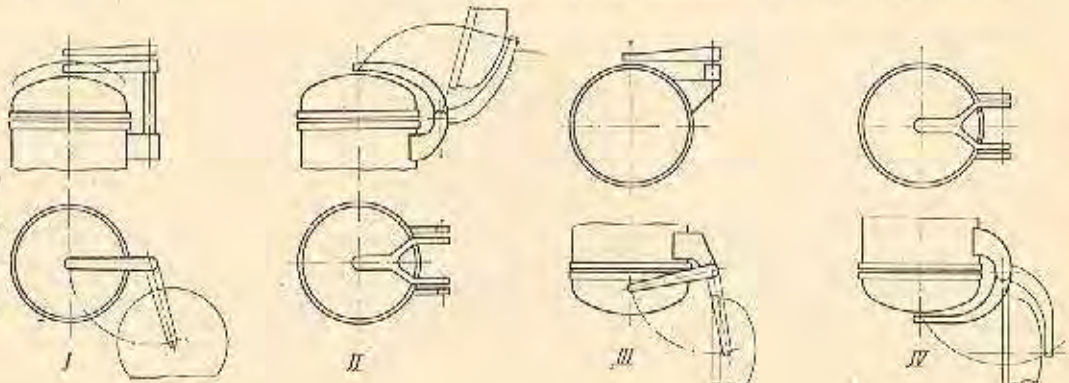


Рис. 23.23. Основные принципиальные схемы механизмов для открытия и закрытия байонетных крышек: I и II — для вертикальных крышек; III и IV — для горизонтальных крышек

Люки круглые с байонетным затвором и поджимным винтом для стальных аппаратов на $P_H = 1,6 \text{ Мн/м}^2$ (тип 4 по ОН 26-01-35-67)

Таблица 23

Условное обозначение люка с $D_H = 150$ мм для аппаратов из углеродистой стали (исполнение 1): «Люк 4.150.1. ОН 26-01-35-67»

D_H	D_a	s	s_1	$D \frac{A_2}{X_2}$	D_1	D_2	b	s_2	H	H_1	H_2	d_0	Исполнение		
													1	2	
													Масса, кг		
мм															
50	50	3,5	10	56	78	130	10		110			M14	2,0	2,01	
80	80	4	12	86	108	150	12		120	45	80	M16	3,1	3,12	
100	100			108	128	170		165					80	15,5	15,7
150	150	6	15	158	182	200	15		215	60	130	M18	3,7	3,73	
250	250	11	18	262	290	290	18			80	155	M20	8,1	8,15	

Примечания:

1. Конструкцию люков см. на рис. 23.20.
 2. Люки предназначены для вертикальной установки. Исполнение 1 — для аппаратов из углеродистой стали, исполнение 2 — для аппаратов из коррозионностойкой стали.
 3. Пределы применения люков в зависимости от температуры среды см. в табл. 23.4.
 4. Материал для исполнения 1: детали 1 (корпус), 2 (крышка нижняя), 3 (крышка верхняя с нахлестком) — сталь марки Ст.3; 4 (винт поджимной) — сталь марки Ст.5; 5 (гайка с ручкой) — сталь марки Ст.4; 6 (прокладка) — в зависимости от среды, рекомендуется — резина марок ИРП-1225, 1257 и 1314 по МРТУ 6-07-6031-64.
- Материал для исполнения 2: детали 1, 2 и 4 — сталь марки X18H10T; остальные детали — такой же материал, как и для исполнения 1.

Люки круглые с байонетным затвором для стальных аппаратов на $P_H = 1,6 \text{ Мн/м}^2$ (тип 5 по ОН 26-01-35-67)

Таблица 23.13

Условное обозначение люка с $D_H = 150$ мм для аппаратов из углеродистой стали (исполнение 1): «Люк 5.150.1. ОН 26-01-35-67»

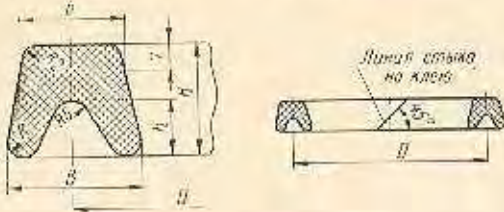
D_H	D_a	s	s_1	$D \frac{A_2}{X_2}$	D_1	D_2	b	s_2	H	H_1	H_2	Исполнение		
												1	2	
												Масса, кг		
мм														
50	50	3,5		78	88									
80	80	4	8	110	120	240	6	3					0,8	0,81
100	100			130	140				80	40	50	1,4	1,41	
150	150	6	10	182	192	280	7	4					2,0	2,02
250	250	11	16	284	300	300	8	5					4,5	4,54
									95	50	55		12,5	12,6
									120	70	75			

Примечания:

1. Конструкцию люков см. на рис. 23.21.
 2. Люки предназначены для вертикальной установки. Исполнение 1 — для аппаратов из углеродистой стали, исполнение 2 — для аппаратов из коррозионностойкой стали.
 3. Пределы применения люков в зависимости от температуры среды см. в табл. 23.4.
 4. Материал для исполнения 1: детали 1 (корпус), 2 (крышка), 3 (стакан), 4 (крышка стакана) — сталь марки Ст.3; 5 (фиксатор), 6 (гайфит) — сталь марки Ст.4; 7 (рукоятка) — сталь марки Ст.4; 8 (пружина) — сталь марки 65Г; 9 (прокладка) — в зависимости от среды, рекомендуется резина марок ИРП-1225, 1257 и 1314 по МРТУ 6-07-6031-64.
- Материал для исполнения 2: детали 1 и 2 — сталь марки X18H10T; остальные детали — такой же материал, как и для исполнения 1.

Таблица 23.14

Кольца уплотнительные резиновые
к байонетным затворам крышек
химических аппаратов
(по данным завода Уралхиммаш)



D_a^*	D	H	B	h	b	R	L^{**}	Масса, кг
мм								
400	460	25	25	13	15	2	1 500	0,6
600	660						2 130	0,85
800	860						2 760	1,1
1000	1060						3 390	1,35
1200	1270	30	35	15	24	4	4 070	4,5
1400	1470						4 700	5,2
1600	1670						5 320	5,9
1800	1870						5 950	6,6
2000	2070	35	40	18	26	6	6 570	7,3
2200	2270						7 210	8,5
2400	2470						7 840	9,3
2600	2670						8 460	10,0
2800	2870	35	40	18	26	6	9 090	10,8
3200	3300						10 440	12,4
3600	3700						11 700	13,9

Примечание. Уплотнительные кольца изготовляются из мягкой резины по ТУ 253—54р II гр.

* Внутренний диаметр крышки.
** Длина заготовки.

Обтюрация достигается прижатием уплотнительного кольца, в полость которого подается вода, воздух или пар под давлением на 0,05—0,1 МПа/м² большим, чем рабочее давление среды в аппарате. В аппаратах, работающих при повышенных температурах, рациональным является применение проточной воды, которая, протекая под давлением, одновременно охлаждает уплотнительное кольцо. В этом случае охлаждение кольца следует производить также и с противоположной стороны (см. рис. 23.22).

Относительный поворот частей с зубьями вокруг их общей оси для запертия (или открытия) байонетного соединения крышки производится соответствующим механизмом.

В табл. 23.15 приведено число зубьев z в байонетных соединениях в зависимости от D_a крышки.

Открытие и закрытие крышек производится с помощью специальных механизмов с ручным, электромеханическим, гидравлическим или пневматическим приводом. Основные принципиальные схемы таких механизмов показаны на рис. 23.23.

Конструкция и основные размеры быстродействующих затворов байонетного типа для $D_a \leq 1000$ мм и $p_y \leq 1,6$ МПа/м² с ручным приводом установлены нормалью МН 3581—62. Конструкция и основные размеры быстродействующих затворов байонетного типа для $D_a > 1000$ мм до 3600 мм и $p_y \leq 1,6$ МПа/м² с гидроприводом установлены нормалью МН 3582—62.

Расчет байонетных крышек производится так же, как фланцевых. Элементы байонетного соединения, воспринимающие нагрузку от давления среды, рассчитываются на прочность на эту нагрузку по общеизвестным формулам сопротивления материалов и деталей машин.

Таблица 23.15

Число зубьев z в байонетных соединениях
в зависимости от D_a крышки
(по данным завода Уралхиммаш)

D_a , мм	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800
z	6	8	10	12	14	16		
D_a , мм	2000	2200	2400	2600	2800	3200	3600	—
z	18	20	22	26	30	34		

Используются в различных областях промышленности, в частности в химико-технологических, в других — как опорные устройства.

Из числа первых особенно широкое применение имеют массообменные тарелки, которыми оснащаются один из основных, наиболее габаритных и материалоемких видов химических аппаратов — ректификационные и абсорбционные колонны.

24.1 МАССООБМЕННЫЕ ТАРЕЛКИ

По способу работы такие тарелки в основном делятся на следующие три типа: колпачковые, провальные и струйно-направленные. Кроме того, существуют и комбинированные тарелки, сочетающие в себе свойства нескольких типов.

Выбор того или иного типа тарелок обуславливается химико-технологическими соображениями.

Диапазон диаметров тарелок (независимо от их типа и конструкции), применяемых в колонной аппаратуре, составляет 200—800 мм — в соответствии с диаметрами колонн, для которых они предназначаются.

Количество тарелок в одной колонне бывает обычно не менее 20—30, а в отдельных случаях доходит до 80 шт. и более.

Расстояния между тарелками зависят в основном от физико-химических свойств разделяемой среды, а также некоторых других соображений и бывают от 60 до 600 мм и более.

Тарелки малых размеров выполняются цельными, тарелки больших размеров — большей частью составными (разборными) из отдельных секций, соединяемых между собой струйниками, болтами и другими приспособлениями. В отдельных случаях в стальной сварной аппаратуре крупногабаритные тарелки выполняются неразборными, свариваемыми на месте монтажа.

Тарелки характеризуются нагрузками по паре и жидкости, относительная величина которых в зависимости от разделяемой среды может в значительной степени отличаться друг от друга.

Рабочие параметры деления в ректификационных и абсорбционных колоннах, также в зависимости от разделяемой среды, бывают различными: по давлению — от глубокого вакуума до избыточного 4 Мн/м² и выше, а по температуре от минус 250 до плюс 250° С и более.

Существует весьма много разнообразных конструкций тарелок, из которых наибольшее распространение получили колпачковые, а из числа последних — особенно тарелки с так называемым каплеуловителем (круглыми колпачками).

Из других типов тарелок необходимо указать на ситчатые, решетчатые и клапанные тарелки, отличающиеся простотой, малой массой и меньшим гидравлическим сопротивлением, по сравнению с колпачковыми тарелками.

При сильно меняющихся нагрузках по паре в аппарате следует применять клапанные тарелки, диапазон устойчивой работы которых достигает трех-четырёхкратной и более величины.

Наименьшее гидравлическое сопротивление имеют ситчатые тарелки, но диапазон устойчивой работы их обычно не превышает двухкратной величины.

В табл. 24.1—24.13 приведены основные данные о наиболее употребительных нормализованных ректификационных тарелках, применяемых в химической, нефтехимической и других родственных областях промышленности, а на рис. 24.1—24.15 показаны конструкции этих тарелок.

Кроме указанных имеются и другие конструкции тарелок, нередко применяемых в данных областях промышленности, например, тарелки с S-образными элементами (см. рис. 24.16), на которые имеются нормали ГИНефтемаша.

В колоннах установок низкотемпературного газоделиения при ректификации чистых сред часто применяются ситчатые тарелки, представляющие собой перфорированный лист с отверстиями диаметром 0,9—6 мм и болтами.

Такие тарелки, наряду с сегментными переливными парубками, выполняются с секторными — при кольцевом движении жидкости по тарелке (рис. 24.17). Последние бывают одно-, двухходовые и более, что достигается установкой радиально одной или нескольких вертикальных перегородок, разделяющих тарелку на соответствующее число секций. Недостатком кольцевых тарелок является наличие в средней части ее нерабочей площади в виде круга, которая не используется как опора тарелки.

Расчет тарелок на прочность производится на грузку от силы тяжести слоя жидкости, находящейся на тарелке, и массы собственно тарелки. Кроме того, для тарелок больших диаметров при $D_T \geq 800$ мм необходимо учитывать нагрузку от силы тяжести рабочего, находящегося на тарелке при сборке и установке ее.

Номинальная расчетная толщина плоской тарелки s' в мм (см), опирающейся по окружности на какое-либо опорное устройство и не имеющей дополнительных опор в виде ребер, балок и т. п., определяется по формуле *

$$s' = 0,45 D_T \sqrt{\frac{p}{\sigma_{изд} \psi_0}} \quad (24.1)$$

где D_T — диаметр тарелки в м (см);
 $\sigma_{изд}$ — допускаемое напряжение на изгиб для материала тарелки в Мн/м² (кгс/см²);
 p — давление на тарелку от силы тяжести слоя жидкости и массы собственно тарелки с учетом возможных дополнительных нагрузок (от силы тяжести рабочего и т. д.) в Мн/м² (кгс/см²);
 $\psi_0 = \frac{l-d}{l}$ — коэффициент ослабления тарелки отверстиями;

l — расстояние между центрами отверстий в тарелке в м (см);
 d — диаметр отверстий или соответствующий размер щели в направлении l в тарелке в м (см).

Для тарелок, имеющих опоры, кроме опоры по окружности, а также для тарелок, состоящих из отдельных секций, которые находятся на опорных балках, номинальная расчетная толщина их s' в мм (см) определяется по формуле

$$s' = K \delta \sqrt{\frac{p}{\sigma_{изд} \psi_0}} \quad (24.2)$$

где значения величин те же, что и в формуле (24.1), а ψ_0 — что и в формуле (24.1).

Кольцевые тарелки рассчитываются на прочность так же, как кольцевые днища (см. п. 16.6).

Кроме прочности цельные ректификационные тарелки и отдельные секции их должны быть проверены расчетом на относительный прогиб, который не допускается иметь более чем $\frac{1}{500}$.

* Получена из формулы (1) табл. 26 (ОН 26-01-13-63) для типов VII и VIII с введенным в знаменатель n коренного выражения коэффициента φ .

Таблица 24.1

Тарелки ректификационные колпачковые однопоточные стальные цельные типов ТСК-I и ТСК-III
(по МН 5393—64, ОН 26-01-3—64, ОН 26-01-56—67 и ОН 26-01-41—67)

Условное обозначение тарелки типа ТСК-I $D_g = 500$ мм из углеродистой стали: «Тарелка 500 МН 5393—64»

То же обозначенной, из стали марки 0X13 с колпачками исполнения I, $H = 20$ мм, $h_g = 15$ мм, $h_p = 300$ мм:

«Тарелка ТСК-I—5—0X13 ОН 26-01—67»
1—20—15—300

Условное обозначение тарелки типа ТСК-III $D_g = 1200$ мм, $H = 20$ мм, $h_g = 10$ мм, $K = 5$ мм и $h_p = 300$ мм

из углеродистой стали «Тарелка ТСК-III—12—2 ОН 26-01-3—64»
20—10—5—300

То же, облегченной из стали марки 0X13 (с колпачками исполнения II): «Тарелка ТСК-III—12—0X13 ОН 26-01-41—67»
11—20—10—5—300

Тип тарелки	D_g , мм	F_a	F_a^*	F_c^*	L_b^*	L_c^*	B	d_k	t	z^*	z_1	$\frac{F_n^*}{F_a}$	$\frac{A^*}{F_b}$	Масса*, кг		
															к*			м		мм		%
ТСК-I	400	0,126	0,008	0,005	1,33	0,22 0,30	220	60	90	7	2	6,35	50 38	23,1 9,5		
	500	0,196	0,014	0,007 0,008	2,45	0,28 0,40	300					13	3	7,15 8,0	54 47	28,2 13,5
	600	0,283	0,026	0,011 0,012	3,27	0,36 0,48	370	29 24	5	9,2 10,0	48 49			36,3 17,5		
	800	0,503	0,057 0,049	0,021	7,28 6,00	0,49 0,57	520			37	5			11,3 9,7	60 50	63,7 28,0
	1000	0,785	0,073	0,051 0,048	9,29	0,685 0,80	595	96	9			9,8 9,0	49 50	86,1 39,0		
ТСК-III	1200	1,13	0,103	0,057 0,056	10,7	0,818 0,90	725			100	140	34	7	9,1 10,0	51 51,1	192 57,5
	1400	1,54	0,174		17,6	0,884 0,96	950							11,8 12,1	63 61,6	268 76,0
	1600	2,01	0,206	0,094 0,11	20,7 22,0	1,056 1,21	1010							66 70	10,2 11,6	56 59,1	321 93,0
	1800	2,54	0,299		30,1	1,128 1,28	1210	96	11,8 12,5					64 63,9	410 112	

Примечания:

1. Тарелки типа ТСК-I (из углеродистой стали) — по МН 5393—64, типа ТСК-III (из углеродистой стали) — по ОН 26-01-3—64, типа ТСК-I, облегченные из легированной стали — по ОН 26-01-56—67, типа ТСК-III, облегченные из легированной стали — по ОН 26-01-41—67.

2. Конструкцию тарелок и их крепления см. на рис. 24.1.

3. Материал тарелок и их деталей см. в табл. 24.3.

4. Диаметр тарелок типа ТСК-I $D_T = D_g - 20$ мм, а ТСК-III $D_T = D_g - 30$ мм.

5. Толщина тарелок типа ТСК-I $s = 4$ мм, облегченных $s = 1,6$ мм (для $D_g \leq 500$ мм) и $s = 2,5$ мм (для $D_g \geq 600$ мм),

ТСК-III $s = 5$ мм, облегченных $s = 2,5$ мм.

6. Колпачки по ГОСТу 9634—68 (в двух исполнениях) с высотой прорези $H = 15$ и 20 мм — для исполнения I и II — $= 20$ и 30 мм — для исполнения II.

7. Расстояния между тарелками h_p определяются химико-технологическим расчетом и могут быть: 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500 и 600 мм.

8. Длина главной трубы устанавливается в зависимости от h_p .

9. Расстояние между нижним торцом колпачков (исполнения II) и дном тарелки K может устанавливаться; для тарелок ТСК-I в пределах $K = 0 \div 10$ мм, для тарелок ТСК-III $K = 0 \div 14$ мм.

10. Высота жидкости над прорезью колпачков h_g может быть: при $H \leq 20$ мм $h_g = 5 \div 30$ мм; при $H = 30$ мм $h_g = 5 \div 40$ мм.

11. F_a — внутренняя площадь сечения аппарата, F_d — площадь сечения паровых патрубков, F_c — площадь сечения слива, L_b — длина линии барботажа, L_c — длина линии слива, z — количество колпачков, Z_1 — количество рядов колпачков в направлении движения жидкости, $\frac{A}{F_a}$ — активная площадь тарелки.

12. Масса (ориентировочная) указана для тарелок ТСК-I при $h_p = 300$ мм и $H = 30$ мм, для тарелок ТСК-III при $h_p = 400$ мм и $H = 30$ мм.

13. Тарелки ТСК-I устанавливаются в аппаратах, состоящих из тарг по 2-7 шт. в тарге. При этом нижняя тарелка в каждой тарге монтируется на опорном кольце, привариваемом к корпусу аппарата. Остальные тарелки лежат свободно и опираются на соответствующие планки, ниже лежащей тарелки. Тарелки ТСК-III устанавливаются в аппаратах на специальные опорные разъемные кольца из угольника, удерживаемые трением. Тарелки ТСК-III облегченные, устанавливаются на кронштейны, прикрепляемые болтами к скобам, приваренным с внутренней стороны к корпусу аппарата.

* Верхние значения — для тарелок из углеродистой стали, нижние значения — для тарелок облегченных из легированной стали; одно значение — для тех и других тарелок.

Тарелки ректификационные колпачковые однопоточные стальные разборные типа ТСК-Р (по МН 5394-64 и ОН 26-01-42-67)

Таблица

Условное обозначение тарелки $D_a = 1000$ мм исполнения I из углеродистой стали: «Тарелка I-1000 МН 5394-64»
 То же из легированной стали марки 0Х13 (с колпачками исполнения II, $H = 20$ мм, $h_g = 10$ мм, $K = 5$ мм и $h_p = 400$ мм): «Тарелка ТСК-Р-10-0Х13 ОН 26-01-41-67».

D_a , мм	F_a	F_n^*	F_c^*	L_b^*	L_c^*	B	d_n	t	α	z_1	$\frac{A^*}{F_a}$		Масса кг
											%		
1000	0,78	0,088 0,087	0,07 0,06	10,8	0,68 ₂	722	80	110	43	6	11,3 11,1	57,9	90 49,3
1200	1,13	0,108 0,125	0,10	12,3	0,83 0,84	856	80	110	39		9,6 9,0	58,6	119 77,0
1400	1,54	0,136 0,157	0,21 0,19	14,4 15,4	1,09 1,10				49	8,8 10,2	54,0	152 95,5	
1600	2,01	0,183 0,218	0,27 0,34	20,7	1,26 1,27	976	100	140	66	7	9,1 10,5	55,7	191 133
1800	2,54	0,239 0,284	0,34 0,38	27,0	1,42 1,43	1096			86	8	9,4 10,8	57,6	230 137
2000	3,14	0,317 0,366	0,38 0,32	35,2 35,8	1,47 1,48	1342	114	10	10,1 11,6	64,2	306 162		
2200	3,81	0,394 0,456	0,41	44,2 44,6	1,63	1462	141 142	11	10,3 12,0	65,7	368 222		
2400	4,52	0,466 0,520	0,49 0,52	53,0 52,8	1,79 1,80	1682	188	12		65,3	419 272		
2600	5,31	0,562 0,650	0,59 0,62	63,1 63,4	1,95 1,96	1704	202	13	10,6 12,2	66,6	526 295		
2800	6,16	0,663 0,765	0,71 0,72	74,6 72,8	2,11 2,13	1826	238 232	14	10,7 12,1	67,5	575 363		

Продолжение табл. 24.2

D_{θ} , мм	F_{θ}	F_{θ}^*	F_{θ}^*	L_{θ}^*	L_{θ}^*	B	d_{θ}	i	z^*	z_1	$\frac{F_{\theta}^*}{F_{\theta}}$	$\frac{A^{**}}{F_{\theta}}$	Масса, кг
3200	8,04	1,16	0,89	78,3	2,39	2112	150	190	168	12	14,4	67,1	864
		1,37	0,88	79,4	2,40				154		412		
3600	10,2	1,33	1,49	91,5	2,90	2112	150	190	194	12	13,1	61,6	1000
		1,34	1,44	84,0					180		13,2		481

Примечания:

1. Тарелки из углеродистой стали — по МН 5394—64, облегченные из легированной стали по ОН 26-01-42—67.
2. Конструкцию тарелки и ее крепления см. на рис. 24.2, колпачков — на рис. 24.1, опорной балки — на рис. 24.3.
3. Материал тарелок и их деталей см. в табл. 24.3.
4. Тарелки из углеродистой стали изготавливаются в двух исполнениях: I — с креплением ее к опорной раме, расположенным сверху, II — с креплением ее к опорной раме, расположенным снизу; тарелки из легированной стали изготавливаются только в исполнении I.
5. Тарелки при $D_{\theta} \leq 1400$ и 1800 мм состоят из двух секций, при $D_{\theta} = 1600$ мм — из трех секций, при $D_{\theta} = 2400$ мм — из шести секций, при $D_{\theta} = 2600$ мм — из десяти секций и при $D_{\theta} = 2800$ —3600 мм — из восьми секций.
6. Диаметр тарелок $D_{\theta} = D_{\theta} - 5$ мм.
7. Толщина тарелок из углеродистой стали $s = 6$ мм, из легированной стали $s = 2,5$ мм.
8. Колпачки по ГОСТу 9834—68 (в двух исполнениях) с высотой провала $H = 15$ и 20 мм для исполнения I и II—30 и 30 мм — для исполнения II.
9. Расстояния между тарелками h_{θ} определяются химико-технологическим расчетом и могут быть: 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 и 1200 мм.
10. Расстояние между нижним торцом колпачков (исполнения II) и дном тарелки K — может устанавливаться в пределах: для $D_{\theta} = 1000$ мм $K = 0 \div 10$ мм; для $D_{\theta} = 1200$ —2800 мм $K = 0 \div 14$ мм; для $D_{\theta} \geq 3200$ мм $K = 0 \div 18$ мм.
11. Высота жидкости над провалом колпачков h_{θ} может быть: при $H = 15$ мм, $h_{\theta} = 5 \div 50$ мм, при $H \geq 20$ мм $h_{\theta} = 0 \div 50$ мм.
12. F_{θ} — внутренняя площадь сечения аппарата, F_{θ}^* — площадь сечения паровых патрубков, F_{θ} — площадь сечения слива, L_{θ}^* — длина линии барботаж, L_{θ} — длина линии слива, z — количество колпачков, z_1 — количество рядов колпачков в направлении движения жидкости, $\frac{A}{F_{\theta}}$ — активная площадь тарелки.
13. Масса (ориентировочная) указана при $h_{\theta} = 400$ мм и $H = 30$ мм.
14. Тарелки предназначены для аппаратов, корпус которых может быть цельносварным или с отъемными крышками. Устанавливаются тарелки на специальные опорные рамы, привариваемые к корпусу аппарата.

* Верхние значения — для тарелок из углеродистой стали, нижние — для тарелок из легированной стали; одно значение — для тех и других тарелок.

** Только для тарелок из углеродистой стали.

Таблица 24.3

Тарелки ректификационные колпачковые двухпоточные стальные разборные типов ТСК-РЦ и ТСК-РБ (по ОН 26-01-4—64)

Условное обозначение тарелки типа ТСК-РЦ $D_{\theta} = 2000$ мм из стали марки Ст.3 $h_{\theta} = 10$ мм, $K = 5$ мм, $H = 30$ мм и $h_{\theta} = 400$ мм: «Тарелка ТСК-РЦ-20—2 ОН 26-01-4—64»

Тип тарелки	D_{θ} , мм	F_{θ}	F_{θ}^*	F_{θ}	L_{θ}^*	L_{θ}	B	d_{θ}	i	z	z_1	$\frac{F_{\theta}^*}{F_{\theta}}$	$\frac{A}{F_{\theta}}$	Масса, кг	
															м ²		м		мм			%
РЦ РБ	1400	1,54	0,123	0,207 0,232	15,1	2,44 1,86	1034	170 —	80	110	60	3	7,99	40,9	173 166
РЦ РБ	1600	2,01	0,167	0,284 0,338	16,3	2,84 2,23	1144	200 —	—	—	52		8,31	43,9	208 194
РЦ РБ	1800	2,54	0,249	0,312 0,333	25,1	3,28 2,32	1374	190 —	100	140	80	4	9,81	63,5	263 244
РЦ РБ	2000	3,14	0,274	0,442 0,536	27,6	3,68 2,79	1424	240 —					88	8,73	47,5	287 280

Тип тарелки	D_a , мм	F_n	F_n	F_c	L_D	L_c	B	b	d_k	t	z	z_1	$\frac{F_n^3}{F_c}$	$\frac{A}{F_c}$	Масса, кг		
		мм ²											мм			мм	
РЦ РБ	2200	3,81	0,399	0,449 0,493	30,0	4,08 2,82	1682	220	100	140	124	5	10,5	55,4	395		
РЦ РБ	2400	4,52	0,502	0,466 0,470	49,0	4,48 2,88	1912	210							369		
РЦ РБ	2600	5,31	0,566	0,610 0,718	55,3	4,88 3,42	1952	250			6	7	11,1	58,7	421		
РЦ РБ	2800	6,16	0,708	0,660 0,714	69,1	5,28 3,48	2194	250							408		
РЦ РБ	3200	8,04	1,03	1,13 1,37	64,1	6,08 4,50	2268	370			150	190	136	5	12,8	52,9	528
РЦ РБ	3600	10,2	1,39	1,30 1,64	86,7	6,84 4,94	2628	380									481
РЦ РБ	4000	12,6	1,78	1,60 1,83	111,2	7,64 5,33	2976	420					6	7	13,6	56,7	597
РЦ РБ	4400	15,2	2,26	1,85 2,04	141,4	8,44 5,68	3346	440									589
РЦ РБ	5000	19,5	2,85	2,51 2,76	178,1	9,64 6,58	3756	520					7	8	14,2	58,8	690
																	1314
									1183								
									8	9			14,9	61,7	1668		
															1513		
									9	10	14,5	60,8	1920				
													1770				
													2125				
													2008				

Примечания:

1. Конструкцию тарелки и ее крепления см. на рис. 24.3.
2. Тарелки изготавливаются двух типов: РЦ — с центральным сливом и РБ — с боковыми сливами.
3. Материал тарелок и их деталей: сталь углеродистая (марки Ст.3) — шифр 2 и легированная (марки Х18Н10Т — шифр 3, Х17Н13М2Т — шифр 4 и 0Х13 — шифр 5).
4. Диаметр тарелок $D_T = D_a - 5$ мм.
5. Толщина тарелок: при $D_a \leq 3600$ мм $s = 5$ мм; при $D_a \geq 3200$ мм $s = 8$ мм.
6. Колпачки по ГОСТу 9634-68 (в двух исполнениях) с высотой прорези $H = 15$ и 20 мм — для исполнения I и $H = 20$ и 30 мм — для исполнения II.
7. Расстояние между тарелками h_p определяется химико-технологическим расчетом и могут быть: при $D_a \leq 2800$ мм $h_p = 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800$ и 900 мм; при $D_a \geq 3200$ мм $h_p = 450, 500, 600, 700, 800$ и 900 мм.
8. Длина сливной трубы устанавливается в зависимости от h_p .
9. Расстояние между нижним торцом колпачков (исполнения II) и дном тарелки K может устанавливаться в пределах: для $D_a = 1400$ мм $K = 0 \div 10$ мм; для $D_a = 1600-2300$ мм $K = 0 \div 14$ мм; для $D_a \geq 3200$ мм $K = 0 \div 18$ мм.
10. Высота жидкости над прорезью колпачков h_g может быть: при $H \leq 20$ мм $h_g = 10 \div 60$ мм; при $H = 30$ мм $h_g = 0 \div 60$ мм.
11. F_g — внутренняя площадь сечения аппарата, F_n — площадь сечения паровых патрубков, F_c — площадь сечения слива, L_D — длина линии барботажна, L_c — длина линии слива, τ — количество колпачков, z_1 — количество рядов колпачков (на половине тарелки) в направлении движения жидкости, $\frac{A}{F_c}$ — активная площадь тарелки.
12. Масса (ориентировочная) указана для $h_p = 400$ мм и $H = 30$ мм.

Таблица 24.4

Тарелки ректификационные колпачковые одноточечные чугунные цельные типа ТЧК

(по ОН 26-01-2-64)

Условное обозначение тарелки типа ТЧК II $D_g = 1000$ мм из чугуна марки СЧ 18-36, $h_g = 10$ мм, $K = 5$ мм, $H = 20$ мм и $h_p = 300$ мм: «Тарелка ТЧК II 10-1 ОН 26-01-2-64»

D_g , мм	F_θ	F_a	F_c	L_b	L_c	D	d_k	t	z	z_1	$\frac{F_a}{F_\theta}$	$\frac{A}{F_a}$	Тарелка	
													П	М
													Масса, кг	
											%			
1000	0,79	0,046	0,018	6,91	0,56	635			20	4	5,8	50,2	268	286
1200	1,18	0,074	0,028	11,05	0,70	765			32	5	6,6	56,6	369	394
1400	1,54	0,099		14,96	0,81	925	110	150	43	6	6,4	55,8	468	498
1600	2,01	0,136	0,077	20,39	0,97	1030			59	7	6,8	58,7	688	723
1800	2,54	0,175		26,27	1,06	1170			76	8	6,9	59,8	846	891
2000	3,14	0,340		28,15	1,22	1322			56	7	10,8	62,4	854	1004
2200	3,80	0,426	0,139	35,18	1,29	1495	160	200	70	8	11,2	64,5	1089	1139
2400	4,52	0,523		43,22	1,40	1680			86	9	11,6	66,8	1283	1356

Примечания:

1. Конструкцию тарелок см. на рис. 24.4.
2. Тарелки изготавливаются в двух исполнениях: П — промежуточная и М — межфланцевая.
3. Материал тарелок и их деталей: чугун марок СЧ 18-36 шифр 1 и СЧ 24-44 шифр 1А; болтов и шпалек — сталь марки Х18Н10Т, гайки — Х18Н10.
4. Диаметр тарелок: промежуточных $D_{TP} = D_g - 20$ мм, межфланцевых $D_{TM} = D_g + 60$ мм.
5. Толщина тарелок: для $D_g \leq 1600$ мм $s = 16$ мм, для $D_g \geq 1800$ мм $s = 20$ мм.
6. Высота зубцов в колпачках П может быть 20 и 25 мм.
7. Высота регулировочной планки h_c может быть 32 и 46 мм.
8. Расстояния между тарелками h_p определяются химико-технологическим расчетом и могут быть: 250, 300, 350, 400, 450 и 600 мм.
9. Длина сливной трубы устанавливается в зависимости от h_p .
10. Расстояние между нижним торцом колпачков и дном тарелки К может устанавливаться в пределах 5-16 мм.
11. Высота жидкости над прорезью колпачков h_g может быть: при $H = 20$ мм $h_g = 3-20$ мм; при $H = 25$ мм $h_g = 0-15$ мм.
12. F_θ — внутренняя площадь сечения аппарата, F_a — площадь сечения паровых патрубков, F_c — площадь сечения сливного патрубка, L_b — длина линии барботажа, L_c — длина линии слива, z — количество колпачков, z_1 — количество рядов колпачков в направлении движения жидкости, $\frac{A}{F_a}$ — активная площадь тарелки.
13. Масса (ориентировочная) тарелок указана для $h_p = 400$ мм, $H = 20$ мм и $h_c = 32$ мм.
14. Тарелки устанавливаются в отдельных циркуляционных аппаратах, высота которых определяется в зависимости от h_p из расчета размещения в жидкости из парг двух тарелок (одной промежуточной и одной межфланцевой).

Таблица 24.5

Тарелки ректификационные колпачковые одноточечные медные цельные типа ТМК

(по МН 5257-64, МН 5259-64 и МН 5261-64)

Условное обозначение тарелки типа ТМК-I исполнения А $D_g = 500$ мм, $h_g = 45$ мм, $L_c = 165$ мм: «Тарелка ТМК-I-A-500-45-165 МН 5257-64»

Тип тарелки	D_g , мм	F_θ	F_a	F_c	L_b	L_c	z	z_1	$\frac{F_a}{F_\theta}$	$\frac{A}{F_a}$	Масса, кг						
												м ²		м		%	
ТМК-I	500	0,196	0,0166	0,0033	0,66	0,367	5	—	8,47	31,0	16,6						
ТМК-II			0,0151	0,0030	0,78	0,363			7,7		25,2						
ТМК-III			0,0225	0,0039	0,99	0,377	11	11,5	68,1	14,2							
ТМК-I	600	0,283	0,0332	0,0039	1,32	0,404	10	3	11,7	42,9	26,4						
ТМК-II			0,0302	0,0042	1,56	0,400			10,7		39,6						
ТМК-III			0,0265	0,0066	1,17	0,481	13	9,37	55,9	17,0							
ТМК-I	700	0,385	0,0398	0,0076	1,58	0,493	12	—	10,3	37,8	32,8						
ТМК-II			0,0362	0,0060	1,87	0,489			9,40		49,1						
ТМК-III			0,0368	0,0101	1,62	0,537	18	4	9,56	56,9	23,5						

Тип тарелки	$D_{\text{ср}}$ мм	$F_{\text{в}}$	$F_{\text{л}}$	$F_{\text{с}}$	$L_{\text{б}}$	$L_{\text{с}}$	z	z_1	$\frac{F_{\text{л}}}{F_{\text{в}}}$	$\frac{A}{F_{\text{в}}}$	Масса, кг
ТМК-I	800	0,503	0,0597	0,0100	2,38	0,565	18	4	11,9	43,5	44,2
ТМК-II			0,0543	0,0093	2,81	0,561			10,8		65,8
ТМК-III			0,0572	0,0101	2,52	0,601	11,4	31,8			
ТМК-I	900	0,636	0,0664	0,0157	2,64	0,671	20	4	10,4	38,2	51,4
ТМК-II			0,0604		3,12	0,667			9,49		77,2
ТМК-III			0,0735		3,24	0,663	36	68,7	40,0		
ТМК-I	1000	0,785	0,0929	0,0190	3,70	0,677	28	5	11,6	43,3	65,5
ТМК-II			0,0845		4,37	0,673			28		11,8	97,7
ТМК-III			0,0981		4,32	0,686	48	12,5	49,5		
ТМК-I	1200	1,13	0,129	0,0190	5,15	0,859	39	6	11,4	41,8	89,6
ТМК-II			0,118		6,08	0,855			39		10,4	135
ТМК-III			0,127		5,58	0,887	82	11,2	66,5		65,6
ТМК-I	1400	1,54	0,186	0,0226	7,59	0,963	56	7	12,1	44,2	122
ТМК-II			0,169	0,0245	8,74	0,959			11,0		181
ТМК-III			0,184	0,0226	8,10	0,992	90	12,0	71,0		90,3
ТМК-I	1500	1,77	0,226	0,0245	8,98	1,04	68	8	11,8	46,7	143
ТМК-II			0,205		10,6				11,6		214
ТМК-III			0,221		0,0353	9,72	1,01	108	10		12,5	74,2	105
ТМК-I	1600	2,0	0,252	0,0245	10,0	1,04	76	9	12,5	45,9	159
ТМК-II			0,229		11,9				11,4		239
ТМК-III			0,262		0,0353	11,5	1,07	128	11		13,0	77,4	121
ТМК-I	1800	2,55	0,302	0,0308	12,0	1,27	91	9	11,5	44,5	193
ТМК-II			0,275		14,2	1,26			10,8		290
ТМК-III			0,351		15,5	1,19	172	13	13,8		82,0	169
ТМК-I	2000	3,14	0,415	0,0353	16,5	1,33	125	11	13,2	48,4	252
ТМК-II			0,377		19,5				12,0		377
ТМК-III			0,445		19,6	1,27	218	15	14,2		84,3	209

Примечания:

1. Конструкция тарелки и их крепления см. на рис. 34.5—34.7.
2. Материал тарелок и их деталей — медь марок М3 или М3С.
3. Тарелки изготавливаются трех типов: ТМК-I (по МН 5257—64) — с колпачками $d_{\text{к}} = 100$ мм с прямоугольными прорезами в двух исполнениях — А (высотой прорезов в колпачках 20 мм) и Б (высотой прорезов в колпачках 25 мм). ТМК-II по МН 5259—64 — с колпачками $d_{\text{к}} = 100$ мм с треугольными зубчатыми прорезами высотой $H = 25$ мм и ТМК-III по МН 5261—64 с колпачками $d_{\text{к}} = 80$ мм с прямоугольными прорезами высотой $H = 25$ мм.
4. Диаметр тарелок: ТМК-I и ТМК-II — $D_{\text{т}} = D_{\text{с}} - 2$ мм; ТМК-III — $D_{\text{т}} = D_{\text{с}}$.
5. Толщина тарелок: ТМК-I $s = 3$ мм, ТМК-II $s = 5$ мм и ТМК-III — для $D_{\text{с}} \leq 1600$ мм $s = 2,5$ мм, для $D_{\text{с}} \geq 1800$ мм $s = 3$ мм.
6. Колпачки: для ТМК-I — по МН 5258—64, для ТМК-II — по МН 5260—64 и для ТМК-III — по МН 5262—64.
7. Расстояние между тарелками $h_{\text{р}}$ определяется химико-технологическим расчетом и могут быть: у всех типов при $D_{\text{с}} \leq 1200$ мм 170 и 200 мм, при $D_{\text{с}} \geq 1400$ мм — у типов I и II — 200 и 210 мм, у типа III — 170, 200 и 240 мм.
8. Расстояние между нижним торцом колпачков и дном тарелки у типов I и II $K = 5$ мм, у типа III $K = 0$.
9. Высота порога слива $H_{\text{с}}$: у типа I — 45, 50 и 55 мм, у типа II — 50 и 55 мм и у типа III — 35 мм, что соответствует высоте жидкости над прорезами в колпачках — у типа I — исполнения А $h_{\text{ж}} = 15, 20$ и 25 мм, у типа I исполнения Б $h_{\text{ж}} = 10, 15$ и 20 мм, у типа II $h_{\text{ж}} = 20$ и 25 мм, у типа III $h_{\text{ж}} = 9$ мм. Длина сливной трубы во всех случаях $l_{\text{с}} = h_{\text{р}} - 5$ мм.
10. $F_{\text{в}}$ — внутренняя площадь сечения аппарата, $F_{\text{л}}$ — площадь сечения паровых патрубков, $F_{\text{с}}$ — площадь сечения слива, $L_{\text{б}}$ — длина линии барботаже, $L_{\text{с}}$ — длина линии слива, z — количество колпачков, z_1 — количество рядов колпачков в направлении движения жидкости, $\frac{A}{F_{\text{в}}}$ — активная площадь тарелки.
11. Масса (ориентировочная) указана при $h_{\text{р}} = 170$ мм и $H = 25$ мм, кроме типа II для $D_{\text{с}} \geq 1400$ мм, для которого масса указана при $h_{\text{р}} = 200$ мм и $H = 25$ мм.
12. Установку тарелок в аппарате см. на рис. 34.9.

Таблица 24.6

Тарелки ректификационные одноколпачковые медные цельные типа ТМО

(по МН 5263—64 и МН 5264—64)

Условное обозначение тарелки $D_g = 500$ мм и $L_c = 200$ мм: «Тарелки ТМО—500—200 МН 5263—64»

D_g , мм	F_g	F_n	F_c	L_b	L_c	D_T	d_c	d_k	$\frac{F_n}{F_g}$, %	Масса, кг
	м ²			м		мм				
500	0,196	0,165	0,0049	0,958	0,338	500	199	305	84,1	10,3
600	0,283	0,234	0,0081	1,12	0,401	600	249	355	82,8	14,5
800	0,503	0,122	0,0127	2,92	0,464	721	184	292	24,2	31,8
900	0,636	0,181		3,44		806	264	372	28,5	35,0
1000	0,785	0,243	0,0164	3,94	0,525	896	334	442	30,9	42,2
1200	1,13	0,370	0,025	5,03	0,652	1086	459	567	32,7	55,9
1400	1,54	0,558		6,11		1286	634	742	36,2	74,8
1600	2,01	0,713	0,045	7,08	0,877	1486	744	852	35,4	93,6

Примечания:

1. Конструкцию тарелок и их крепления см. на рис. 24.8.
2. Материал тарелок и их деталей — медь марок МЭ и МЭС.
3. Тарелки для $D_g \leq 600$ мм — по МН 5263—64, для $D_g \geq 800$ мм — по 5264—64.
4. Толщина тарелок $D_g \leq 600$ мм $s = 2,5$ мм, для $D_g \geq 800$ мм $s = 3$ мм.
5. Расстояния между тарелками h_p определяются химико-технологическим расчетом и могут быть: для $D_g \leq 600$ мм $h_p = 240$ мм; для $D_g = 800$ и 1000 мм $h_p = 240$ и 280 мм, для $D_g = 1200$ и 1400 мм $h_p = 240, 280$ и 340 мм и для $D_g = 1600$ мм $h_p = 280$ и 340 мм.
6. F_g — внутренняя площадь сечения аппарата, F_n — площадь сечения паровых патрубков, F_c — площадь сечения слива, L_b — длина линии барботажа, L_c — длина линии слива.
7. Масса (приветировочная) указана: для тарелок $D_g \leq 600$ мм при $h_p = 240$ мм, для тарелок $D_g = 800 + 1200$ мм при $h_p = 240$ мм, для тарелок $D_g \geq 1400$ мм при $h_p = 280$ мм.
8. Установку тарелок в аппарате см. на рис. 24.9.

Таблица 24.7

Стойки опорные для установки в аппаратах медных ректификационных колпачковых тарелок

(по приложениям 1 и 2 к МН 5265—64)

Условное обозначение стойки типа А при $h_p = 170$ мм и H мм (см. рис. 24.9): «Стойка опорная нижняя А—170—Н МН 5265—64»Условное обозначение стойки типа В (типа В) при $h_p = 170$ мм для тарелок толщиной 2,5 мм «Стойка опорная промежуточная (разъемная) В (В)—170—2,5 МН 5265—64»

D_g	Типы тарелок																								
	ТМК-I и ТМК-II			ТМК-III			ТМО																		
	h_p	Количество стоек типа			h_p	Количество стоек типа			h_p , мм	Количество стоек типа															
мм	А	Б	В	мм	А	Б	В		А	Б	В														
500	170; 200	4	4	4	170; 200	—	—	—	240; 240; 280	1	1	1													
600		200; 240	7	7		7	170; 200; 240	5					5	5	280; 340	—	—	—							
700			8	8		8													—	—	—	—	—	—	—
800																									
900	10	10	10	—	—	—	—	—	—	—	—														
1000												10	10	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
1200	10	10	10	—	—	—	—	—	—	—	—													—	
1400												10	10	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
1500	10	10	10	—	—	—	—	—	—	—	—													—	
1600												10	10	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
1800	10	10	10	—	—	—	—	—	—	—	—													—	
2000												10	10	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—		

Примечания:

1. Конструкцию опорных стоек см. на рис. 24.9.
2. Стойки изготавливаются трех типов: А — стойка опорная нижняя, Б — стойка опорная промежуточная и В — стойка опорная разъемная.
3. Высота стоек типа А под тарелки типов ТМК-I, II и III зависит от высоты кубической части колонны, а под тарелки типа ТМО — также и от радиуса колпачка.
4. Материал стоек — латунь марки ЛК80-3Л или бронза и медь марки МЭ.

Тарелки ректификационные колпачковые однопоточные керамические типа ТКК (по ОН 26-01-11-65)

Таблица 24.8

Условное обозначение тарелки $D_a = 500$ мм, $H = 200$ мм: «Тарелка ТКК 500-200 ОН 26-01-11-65»

D_a , мм	F_T	F_n	F_o	D_T	D	d_k	i	d_c	z	z_1	z_2	$\frac{F_n}{F_T}$, %	Высота тарелки, мм				
													200	250	400		
													Масса, кг				
300	0,031	0,00274	0,0013	220	180	80	110	40	2	1	1	8,5	13,5	15,7	18,0		
400	0,081	0,00415	0,0030	320	260				3								
500	0,137	0,00830	0,0048	415	280				4								
600	0,210	0,0097	0,0112	510	400				85	17	2	2	4,60	45,0	50,0	55,0	
800	0,370	0,0240	0,0115	690	420												19
1000	0,580	0,0260	0,0191	870	650												22
1200	0,890	0,0620	0,034	1070	780	110	150	120	37	4	3	4,55	90,0	103			
1400	1,26	0,105	0,053	1270	920										150		
1600	1,65	0,121	0,094	1450	200										59		
1800	2,14	0,167		1640								7,75	268	293			

Примечания:

1. Конструкцию тарелок см. на рис. 24.10.
2. Тарелки предназначены для металлических аппаратов при ректификации кислот любых концентраций (за исключением плавиковой и фтороводной), работающих при $p \leq 0,92$ МПа и t_c до 140° С.
3. Материал — плотная керамика с повышенной термостойкостью, удовлетворяющая требованиям: водопоглощение не более 2%, кислотостойкость не менее 98%, термостойкость не менее 30 теплосмен, $\sigma_a \geq 8$ МПа/мм², $\sigma_c \geq 70$ МПа/мм².
4. Расстояние между тарелками определяется химико-технологическим расчетом. Высота тарелок может быть: при $D_a \leq 600$ мм $h_p = 200, 250$ и 300 мм, при $D_a \geq 800$ мм $h_p = 200$ и 250 мм.
5. Максимальное возможное количество тарелок определяется, исходя из допустимого удельного давления на опорной поверхности нижней тарелки, не превышающего $q = 2$ МПа/мм².
6. Тарелки для $D_a \leq 600$ мм изготавливаются цельными (исполнение I) для $D_a \geq 800$ мм — составными (исполнение II). Соединение отдельных элементов составных тарелок — на кислотоупорном кварцевом кремнефтористом цементе по ГОСТу 5050-60.
7. Для исполнения II: толщина тарелок при $D_a \leq 1200$ мм $s = 25$ мм, при $D_a \geq 1400$ мм $s = 30$ мм; наружный диаметр тарелок при $D_a \leq 1000$ мм $D = D_a + 60$ мм, при $D_a \geq 1200$ мм $D = D_a + 80$ мм.
8. F_T — площадь поперечного сечения тарелки, F_n — площадь поперечного сечения паровых патрубков, F_o — площадь поперечного сечения сливных патрубков, z — количество колпачков, z_1 — количество рядов колпачков в направлении движения жидкости, z_2 — количество сливных патрубков.
9. Тарелки в аппарате устанавливают одну на другую с прокладкой между ними из плотненького шнура из стойкого к среде материала.

Тарелки ректификационные ситчатые с отбойными элементами однопоточные стальные разборные (по ОН 26-02-30-66)

Таблица 24.9

Условное обозначение тарелки из стали марки ОХ13 исполнения I $D_a = 5000$ мм и $h_p = 600$ мм: «Тарелка I-5000-600-ОХ13 ОН 26-02-30-66»

D_a , мм	F_T , м ²	F_n , м ²	V , мм	z	$\frac{F_n}{F_T}$, %	$\frac{\lambda}{F_n}$, %	Масса, кг			
							I		II	
							У	Л	У	Л
1200	1,13	0,8	815	3	12,0	54,5	95	70	105	75
1400	1,54	0,9	995							
1600	2,01	1,2	1005	4	13,6	60,0	115	90	125	95
1800	2,55	1,3	1205							
2000	3,14	1,5	1245	5	14,3	62,0	140	110	155	115
2200	3,80	1,6	1415							
2400	4,52	1,7	1615	6	13,5	59,0	160	125	175	135
2600	5,30	1,8	1815							
2800	6,15	1,9	2015	8	14,3	62,0	225	185	245	195
3000	7,05	2,1			15,0	65,5	280	225	300	235
					15,7	68,0	310	245	330	260
					15,0	65,0	345	280	365	290
							380	305	405	315

Продолжение табл. 24.9

D_g , мм	F_g , м ²	L_c , м	D , мм	z	$\frac{F_n}{F_g}$	$\frac{A}{F_g}$	I		II	
							У	Л	У	Л
										%
3200	8,05	2,2	2215	10	15,4	66,7	415	330	440	345
3400	9,10	2,3	2415	11	15,5	67,0	425	365	455	375
3600	10,2	2,4	2615	12	15,9	69,0	475	385	500	395
3800	11,3	2,6			15,4	67,0	515	410	545	425
4000	12,6	2,7	2815	13	16,2	70,5	565	455	600	475

Примечания:

1. Конструкцию тарелки и ее крепления см. на рис. 24.11.
2. Тарелки изготавливаются из перфорированного согласно рис. 24.11 листа толщиной 2 мм в двух исполнениях: I — без кармана для отбора жидкости и II — с карманом для отбора жидкости.
3. Материал тарелок: У — из углеродистой стали, Л — из легированной стали.
4. Тарелки при $D_g \leq 2000$ мм состоят из двух секций; при $D_g = 2200-3000$ мм — из трех секций; при $D_g \geq 3200$ мм — из четырех секций.
5. Расстояния между тарелками h_p определяются химико-технологическим расчетом и могут быть: 450, 500, 600, 700, 800 и 900 мм.
6. F_n — внутренняя площадь сечения аппарата, L_c — длина линии слива, $\frac{F_n}{F_g}$ — относительная площадь прохода паров, $\frac{A}{F_g}$ — относительная рабочая площадь тарелки, z — количество рядов отбойников.
7. Масса (ориентировочная) указана для $h_p = 600$ мм.

Таблица 24.10

Тарелки ректификационные ситчатые с отбойными элементами двухпоточные стальные разборные (по ОН 26-02-30-66)

Условное обозначение тарелки из стали марки 0Х13 исполнения III $D_g = 5000$ мм и $h_p = 600$ мм: «Тарелка III-5000-600-0Х13 ОН 26-02-30-66»

D_g , мм	F_g , м ²	L_c , м	B	b	b_1	z	$\frac{F_n}{F_g}$	$\frac{A}{F_g}$	III		IV		V		
									У	Л	У	Л	У	Л	
												%		Масса, кг	
2400	4,52	1,6	1630	450	300	4	9,0	38,0	485	440	525	440	520	485	
2600	5,30	1,5	2060			11,8	48,0	520	505	560	525	585	545		
2800	6,05	1,8	2090			6	10,8	45,0	565	540	630	560	635	580	
3000	7,06	2,1	2120				11,0	46,0	600	605	715	635	710	660	
3200	8,04	2,0	2490	480	330	8	12,8	53,0	725	675	790	710	775	730	
3400	9,07	2,3	2500				12,5	52,0	775	715	840	745	850	795	
3600	10,2	2,5	2650				12,3	51,0	860	790	920	820	925	870	
3800	11,3	2,4	2900				13,7	57,0	910	845	975	880	1005	945	
4000	12,6	2,7	2890				10	13,3	55,0	955	880	1020	915	1050	990
4500	15,9	3,0	3330					12	14,1	69,0	1180	1100	1255	1130	1270	1180
5000	19,6	3,3	3730	510	360	14	14,9	62,0	1375	1280	1455	1320	1505	1420	
5500	23,8	3,6	4130				16	15,5	64,5	1575	1460	1655	1500	1710	1610
6000	28,3	3,9	4530					18	16,0	67,0	1800	1660	1900	1710	1935	1820
6400	32,2	4,1	4930				20		16,5	69,0	2055	1810	2160	1860	2165	2050
7000	38,5	4,5	5330					22	16,7	69,5	2985	2200	2495	2250	2570	2440
8000	50,3	5,1	6130				26		17,3	71,5	2855	2600	2980	2700	3315	3160

Примечания:

1. Конструкцию тарелки и ее крепления см. на рис. 24.12.
2. Тарелки изготавливаются из перфорированного согласно рис. 24.12 листа толщиной 2 мм в трех исполнениях: III — с боковыми сливами, IV — с центральным сливом без кармана для отбора жидкости, V — то же, но с карманом.
3. Материал тарелок: У — из углеродистой стали, Л — из легированной стали.
4. Тарелки при $D_g \leq 2800$ мм состоят из 6 секций, при $D_g = 3000-4000$ мм — из 8 секций, при $D_g = 4500$ мм — из 10 секций, при $D_g = 5000-6000$ мм — из 12 секций, при $D_g = 6400$ мм — из 14 секций и при $D_g \geq 7000$ мм — из 16 секций.
5. Расстояния между тарелками определяются химико-технологическим расчетом и могут быть: 450, 500, 600, 700, 800 и 900 мм.
6. F_n — внутренняя площадь сечения аппарата, L_c — длина линии слива, $\frac{F_n}{F_g}$ — относительная площадь прохода паров, $\frac{A}{F_g}$ — относительная рабочая площадь тарелки, z — количество рядов отбойников.
7. Масса (ориентировочная) указана для $h_p = 600$ мм.

Тарелки ректификационные клапанные однопоточные стальные разборные
(по ОП 26-02-29-66)

Условное обозначение тарелки из стали марки 0Х13 исполнения I $D_a = 2000$ мм и $h_p = 600$ мм:
«Тарелка I-2000-600-0Х13 ОН 26-02-29-66»

D_a , мм	F_a , мм ²	L_c , мм	B , мм	z	z_1	$\frac{F_n}{F_a}$	$\frac{A}{F_a}$	I		II	
								У	Л	У	Л
								Масса, кг			
1000	0,785	0,65	690	64	9	10,3	74,5	80	55	90	60
1200	1,13	0,80	830	112	12	12,5	75,0	105	70	110	75
1400	1,54	0,99	970	150	14	12,3	75,5	130	90	145	95
1600	2,01	1,08	1110	212	17	13,1	76,5	160	105	170	110
1800	2,55	1,22	1250	278	20	13,5	77,5	190	130	205	135
2000	3,14	1,35	1390	360	23	14,3	77,5	225	150	240	160
2200	3,80	1,51	1530	470	26	15,6	78,0	260	175	275	185
2400	4,52	1,64	1670	540	28	15,0	78,0	310	210	330	220
2600	5,30	1,80	1810	666	31	15,8	77,0	340	230	360	240
2800	6,15	1,92	1950	770	34	15,8	77,0	390	260	410	270
3000	7,03	2,10	2090	916	37	16,5	78,4	435	290	455	300
3200	8,03	2,25	2230	1006	40	15,8	79,0	560	360	580	370
3400	9,06	2,35	2370	1166	42	16,2	79,1	600	410	625	420
3600	10,2	2,52	2510	1318	45	16,3	79,1	680	460	705	475
3800	11,3	2,73	2650	1496	48	16,7	78,1	745	505	770	520
4000	12,6	2,82	2790	1658	51	16,6	79,6	815	555	840	570

Примечания:

1. Конструкция тарелки и ее крепления см. на рис. 24.13.
2. Тарелки изготавливаются в двух исполнениях: I — без кармана для отбора жидкости и II — с карманом для отбора жидкости.
3. Материал тарелок: У — из углеродистой стали, Л — из легированной стали.
4. Тарелки при $D_a \leq 1200$ мм состоят из трех секций; при $D_a = 1400$ и 1600 мм — из четырех секций, при $D_a = 1800$ — из пяти секций, при $D_a = 2400$ и 2600 мм — из шести секций, при $D_a = 2800$ и 3000 мм — из семи секций, при $D_a = 3200$ и 3400 мм — из восьми секций, при $D_a = 3600$ и 3800 мм — из девяти секций и при $D_a = 4000$ мм — из десяти секций.
5. Расстояния между тарелками h_p определяются химико-технологическим расчетом и могут быть: 450, 500, 600, 700, 800 и 900 мм.
6. F_a — внутренняя площадь сечения аппарата, L_c — длина линии слива, $\frac{F_n}{F_a}$ — относительная площадь прохода паров, $\frac{A}{F_n}$ — относительная рабочая площадь тарелки, z — количество клапанов, z_1 — количество рядов клапанов по ходу жидкости.
7. Масса (ориентировочная) указана для $h_p = 600$ мм.

Абсолютный прогиб круглой плоской тарелки y в мм (см) без учета перфорации определяется по формуле

$$y = K \frac{D_a^4 p}{E^t (s - C_K)^3}, \quad (24.3)$$

прогиб отдельных секций тарелки y в мм (см) определяется по формуле

$$y = K \frac{b^4 p}{E^t (s - C_K)^3}, \quad (24.4)$$

где E^t — модуль нормальной упругости материала тарелки в МПа/мм^2 (кгс/см^2);

K — коэффициент. В формуле (24.3): для жестко закрепленной по периметру тарелки $K = 0,0106$;

для свободно опертой — $K = 0,0437$; в формуле (24.4): для секции жестко закрепленной по периметру при $\frac{l}{b} = 1$ $K = 0,017$; при $\frac{l}{b} > 1$,

по < 2 $K \approx 0,017 + 0,003 \frac{l}{b}$; при $\frac{l}{b} \geq 2$ $K =$

$= 0,024$; для секции свободно опертой по периметру K берется по графику на рис. 24.18;

b — меньшая сторона секции тарелки в мм (см).
Опорные балки или ребра под тарелки рассчитываются на поперечный изгиб, исходя из равномерной нагрузки на них от силы тяжести части слоя жидкости и части массы собственно тарелки, приходящейся на балку, массы опорной балки и возможной нагрузки от силы тяжести одного или нескольких рабочих (в зависимости от диаметра аппарата) при монтаже и установке тарелки.

Таблица 24.12

Тарелки ректификационные клапанные двухпоточные стальные разборные
(по ОН 26-02-29-66)Условное обозначение тарелки из стали марки 0Х13 исполнения III $D_0 = 2000$ мм и $h_p = 600$ мм:
«Тарелка III-2000-600-0Х13 ОН 26-02-29-66»

D_0 , мм	$F_{вн}$, м ²	L_c , м	B	B_1	b	b_1	z	z_1	z_2	$\frac{F_D}{F_B}$	$\frac{A}{F_B}$	III		IV		V	
												У	Л	У	Л	У	Л
												Масса, кг					
												%					
1400	1,54	0,86	1100	950	355	200	78	70	3	5,75	41	185	121	206	132	160	120
1600	2,01	1,06	1200	1050			124	112	4	7,0	43	229	138	252	150	190	140
1800	2,55	1,24	1300	1150			180	172	5	8,45	45	267	162	295	175	225	165
2000	3,14	1,25	1560	1408	455	300	204	198	7	7,85	44	355	225	390	240	305	210
2200	3,80	1,32	1760	1608			268	252	8	8,35	390	235	425	250	350	240	
2400	4,52	1,51	1960	1808			448	424	11	10,0	515	325	560	345	450	310	
2600	5,30	1,78	2160	2008	500	344	524	508	12	10,1	59	555	350	600	370	505	345
3000	7,07	1,85	2360	2208			656	620	14	10,5	620	390	665	410	555	380	
3200	8,04	2,03	2470	2320			696	672	16	11,0	715	435	765	460	665	480	
3400	9,08	2,10	2670	2520	500	344	844	828	16	11,8	61	750	490	800	515	705	505
3600	10,2	2,25	2810	2660			948	928	17	12,3	900	600	945	625	810	585	
3800	11,3	2,40	2950	2800			1152	1116	19	11,9	975	650	1025	680	885	635	
4000	12,6	2,70	3230	3080	480	360	1220	1192	22	12,4	60	1075	705	1130	735	955	680
4500	15,9	3,20					1624	1580	22	12,4	1280	850	1340	880	1130	805	
5000	19,6	3,56					2068	2028	25	13,0	1505	995	1580	1030	1330	950	
5500	23,8	3,80	2560	2440	480	360	2560	2440	28	12,9	63	2010	1450	2090	1490	1790	1250
6000	28,3	4,10	3140	3080			32	13,7	2240	1510	2325	1550	2020	1445			
6400	32,2	4,27	3984	3800			38	15,4	2500	1700	2585	1740	2330	1665			
7000	38,5	4,73	4644	4560	480	360	4644	4560	41	14,7	70	2910	1975	3010	2020	2650	1890
8000	50,3	5,13	6744	5916			51	14,9	3675	2485	3780	2540	3380	2390			

Примечания:

1. Конструкцию тарелки и ее крепления см. на рис. 24.13 и 24.14.
2. Тарелки изготавливаются в трех исполнениях: III — с боковыми сливами, IV — с центральным сливом без кармана для отбора жидкости и V — то же, но с карманом.
3. Материал тарелок: У — из углеродистой стали, Л — из легированной стали.
4. Тарелки при $D_0 \leq 1800$ мм состоят из двух секций, при $D_0 = 2000$ мм — из десяти секций, при дальнейшем возрастании D_0 количество секций в решетке соответственно увеличивается и при $D_0 = 8000$ мм составляет 38.
5. Расстояния между тарелками h_p определяются химико-технологическим расчетом и могут быть: 450, 500, 600, 700, 800 и 900 мм.

6. $F_{вн}$ — внутренняя площадь сечения аппарата, L_c — длина бокового слива на один поток, $\frac{F_D}{F_B}$ — относительная площадь прохода паров, $\frac{A}{F_B}$ — относительная рабочая площадь тарелки, z — количество клапанов на тарелке с центральным сливом (IV и V), z_1 — количество клапанов на тарелке с боковыми сливами, z_2 — количество рядов клапанов по ходу жидкости на один поток.

7. Масса (ориентировочная) указана для $h_p = 600$ мм.

Таблица 24.13

Тарелки ректификационные решетчатые провольные стальные разъемные (по Н 964—63 Гиронфтемаша)

D_0 , мм	Материал	8		10		12		14		16		18		20		22		24		26		32		36		
		$F_{n/P}$, %	Масса, кг	$F_{n/P}$, %	Масса, кг	$F_{n/P}$, %	Масса, кг	$F_{n/P}$, %	Масса, кг	$F_{n/P}$, %	Масса, кг	$F_{n/P}$, %	Масса, кг	$F_{n/P}$, %	Масса, кг	$F_{n/P}$, %	Масса, кг	$F_{n/P}$, %	Масса, кг	$F_{n/P}$, %	Масса, кг	$F_{n/P}$, %	Масса, кг	$F_{n/P}$, %	Масса, кг	
1000	У	—	27	49,6	22	50,8	19	51,5	16	52,1	15	52,4	14	52,7	12	53,2	12	53,2	11	53,4	9	53,9	8	54,2	7	54,4
	Л	4	22	35,7	17	35,2	15	33,8	11	37,0	10	37,2	9	36,7	8	36,9	8	37,4	7	37,0	6	37,2	5	37,4	4	37,5
1200	У	—	32	63,6	24	66,4	20	67,9	18	68,6	16	69,2	14	69,8	13	70,2	13	70,2	12	70,8	11	71,1	9	71,7	8	71,9
	Л	4	24	45,3	21	43,8	16	46,8	14	47,4	12	47,4	11	47,7	10	47,9	9	48,0	8	47,5	7	47,7	6	48,0	5	48,1
1400	У	—	39	76,1	26	82,4	23	84,0	20	85,3	17	86,5	16	87,5	15	88,0	14	88,0	14	88,3	11	89,5	10	89,8	9	90,5
	Л	4	25	55,6	21	56,7	18	57,4	16	58,4	14	59,9	12	59,9	10	59,2	10	59,3	9	58,4	8	59,0	7	59,2	6	59,5
1600	У	—	31	109	25	112	21	115	19	116	17	118	15	119	14	120	13	120	13	120	11	121	10	122	9	123
	Л	4	26	73,2	20	74,9	17	76,1	14	77,3	13	77,7	10	78,0	9	78,4	8	78,4	8	78,6	7	77,9	6	78,4	5	78,7
1800	У	—	32	129	27	133	23	137	20	139	18	140	16	142	15	143	13	143	13	144	11	146	10	147	9	148
	Л	4	28	85,6	22	88,2	18	89,8	15	90,7	14	91,9	11	92,4	10	92,5	9	92,5	9	91,5	8	92,3	7	92,8	6	93,2
2000	У	—	31	177	26	182	22	185	20	188	18	190	16	192	15	193	13	193	13	194	11	197	10	198	9	199
	Л	4	26	121	20	123	17	125	15	126	13	127	10	128	10	128	9	129	9	127	8	128	7	128	6	129
2200	У	—	32	208	26	214	22	219	20	222	18	225	16	227	14	229	13	229	13	230	12	232	10	231	9	235
	Л	4	27	140	21	144	18	146	15	148	12	148	11	150	10	151	9	151	9	148	8	150	7	150	6	151
2400	У	—	31	269	27	275	22	281	20	284	18	287	16	289	15	292	13	292	13	294	12	295	10	298	9	301
	Л	4	27	172	22	185	18	189	16	192	12	193	11	193	10	193	9	193	9	192	8	193	7	195	6	196

Примечания:

1. Конструкция тарелки и ее крепления см. на рис. 24.15.

2. Материал секторов и опорных деталей: У — углеродистая сталь, Л — легированная сталь.

3. Материал деталей, привариваемых к корпусу колонок, должен быть из той же марки стали.

4. Диаметр тарелки: для $D_0 \leq 1600$ мм и $D_0 = D_1 = 50$ мм; для $D_0 = 2000$ мм $D_1 = D_2 = 40$ мм.5. Толщина листа тарелки: У — $S = 4$ мм, Л — $S = 2$ мм.6. Тарелки при $D_0 \leq 1400$ мм состоят из трех секторов при $D_0 = 1600$ и 1800 мм — из четырех секций; для $D_0 = 2000$ и 2200 — из восьми секций; для $D_0 = 2400$ мм — из десяти секций.7. Расстояние между тарелками h_p определяется химико-технологическими расчетами и могут быть 300, 350, 400, 450, 500 и 600 мм.8. $F_{n/P}$ — относительная площадь отверстий в внутренней плоскости секции аппарата.

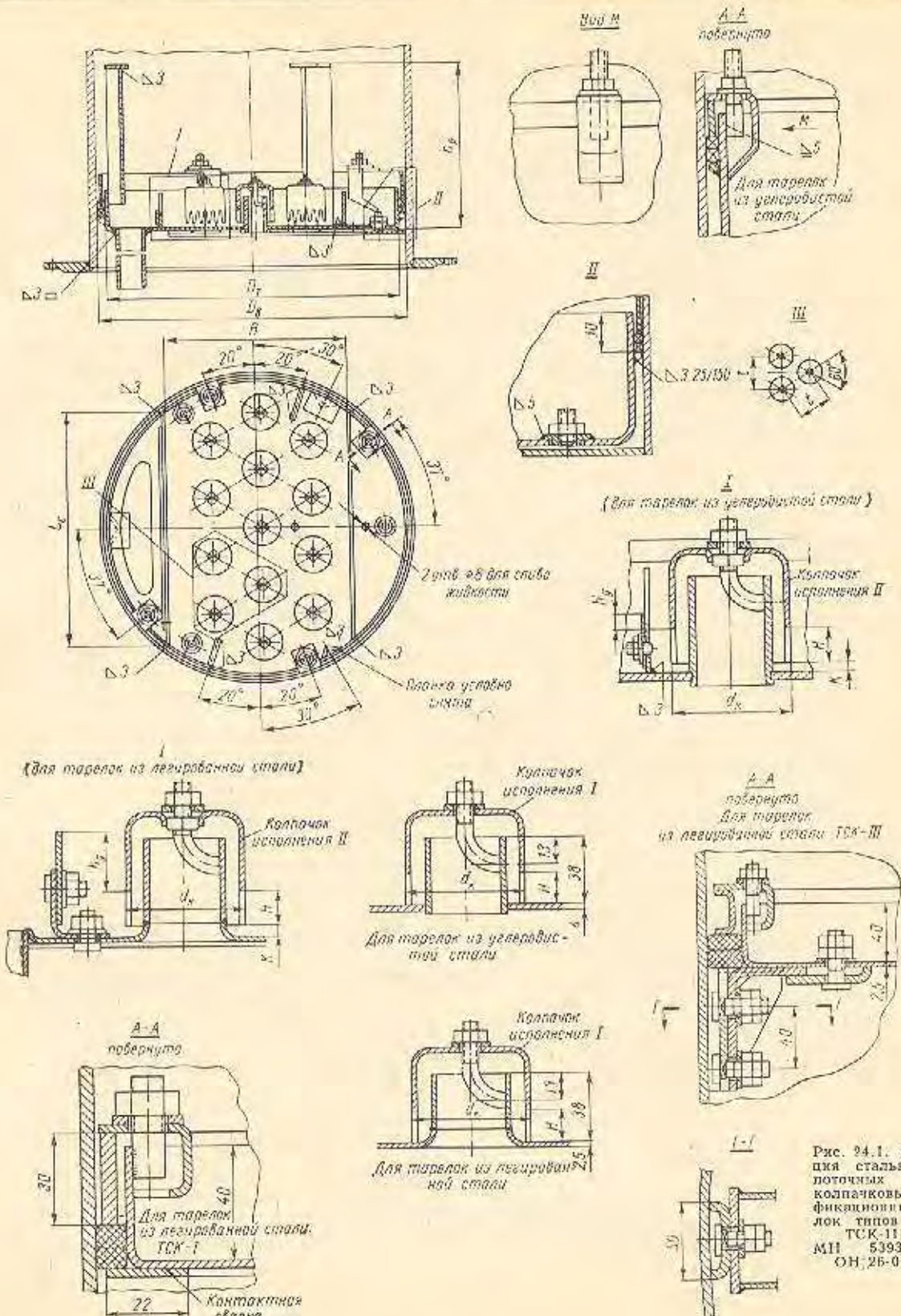
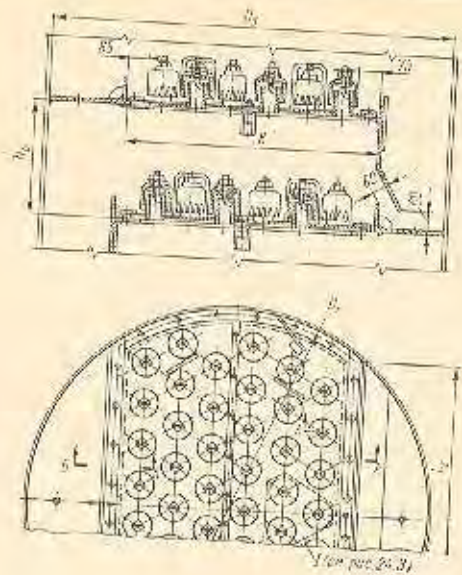


Рис. 24.1. Конструкция стальных однослойных цельных колпачковых ретарелок типов ТСК-1 и ТСК-III по ИР МН 5393-64 и ОН 26-01-3-64



Угол рис 24.3/1

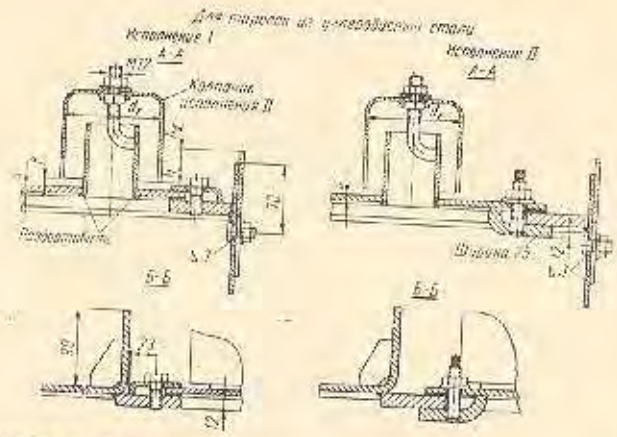
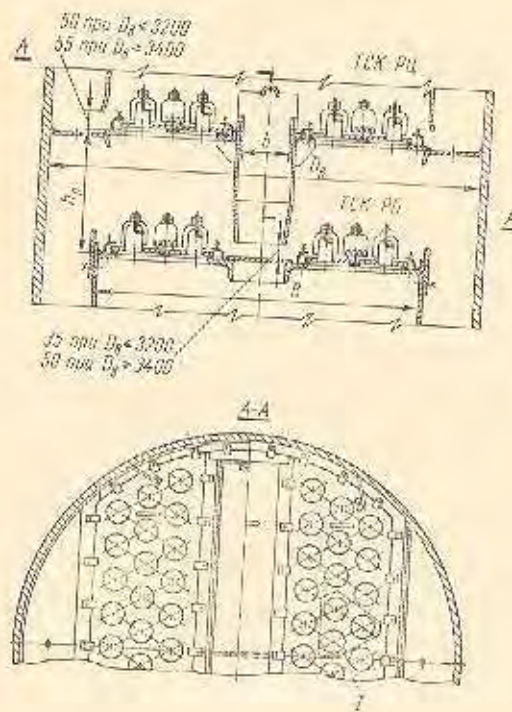
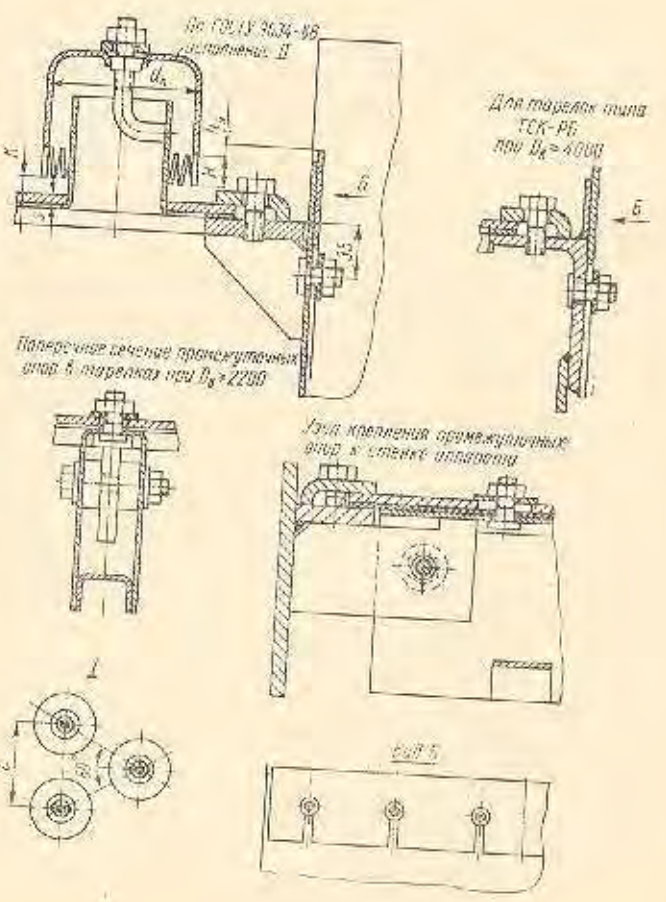


Рис. 24.2. Конструкция стальных однослойных разборных колпачковых ректификационных тарелок типа ТСК-Р по МП 5394-64



58 при $D_0 < 3200$
55 при $D_0 > 3400$

55 при $D_0 < 3200$
58 при $D_0 > 3400$



По ГОСТ 9634-98
Исполнение II

Для тарелок типа
ТСК-РБ
при $D_0 > 4000$

Угол крепления ограничительных
пласт к стенке аппарата

Рис. 24.3. Конструкция стальных двухслойных разборных колпачковых ректификационных тарелок типа ТСК-РЦ в ТСК-РБ по ОН 26-01-4-64

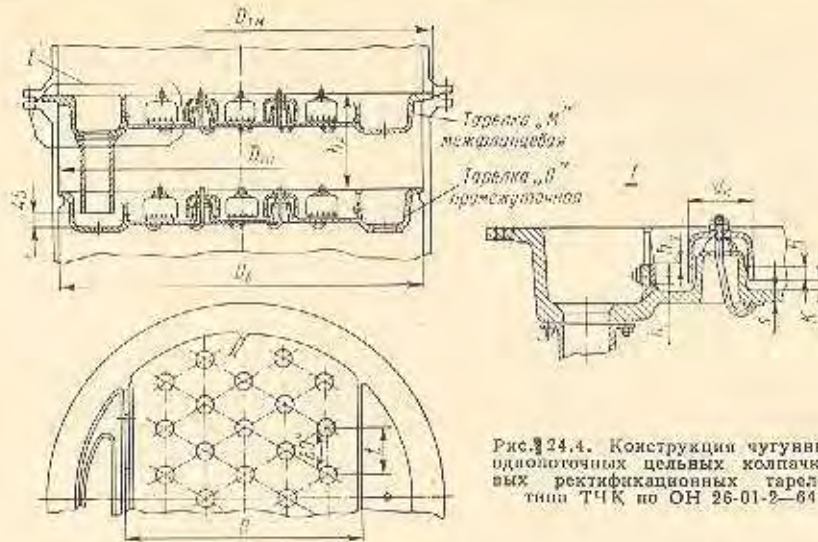


Рис. 24.4. Конструкция чугунных однофазных цельных кольчатых ректификационных тарелок типа ТЧК по ОН 26-01-2-64

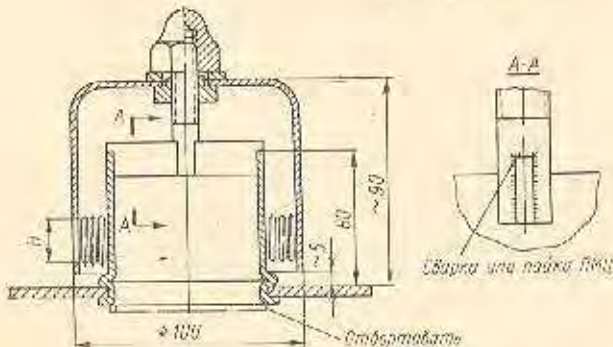
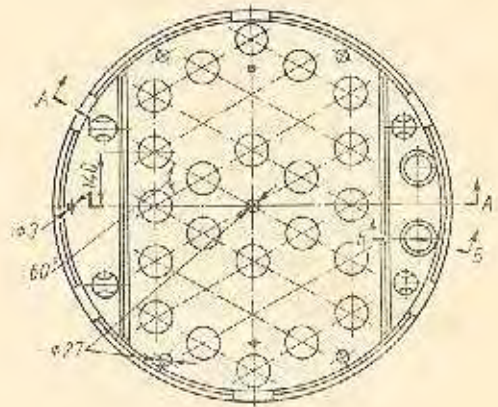
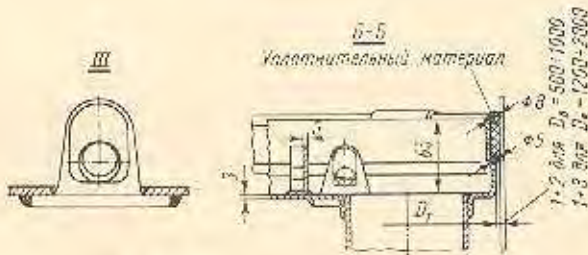
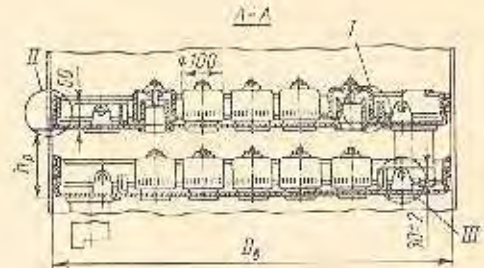
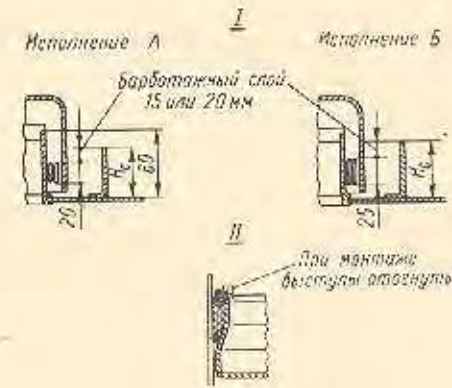


Рис. 24.5. Конструкция медных однофазных цельных кольчатых ректификационных тарелок типа ТМК-1 по МП 5257-64

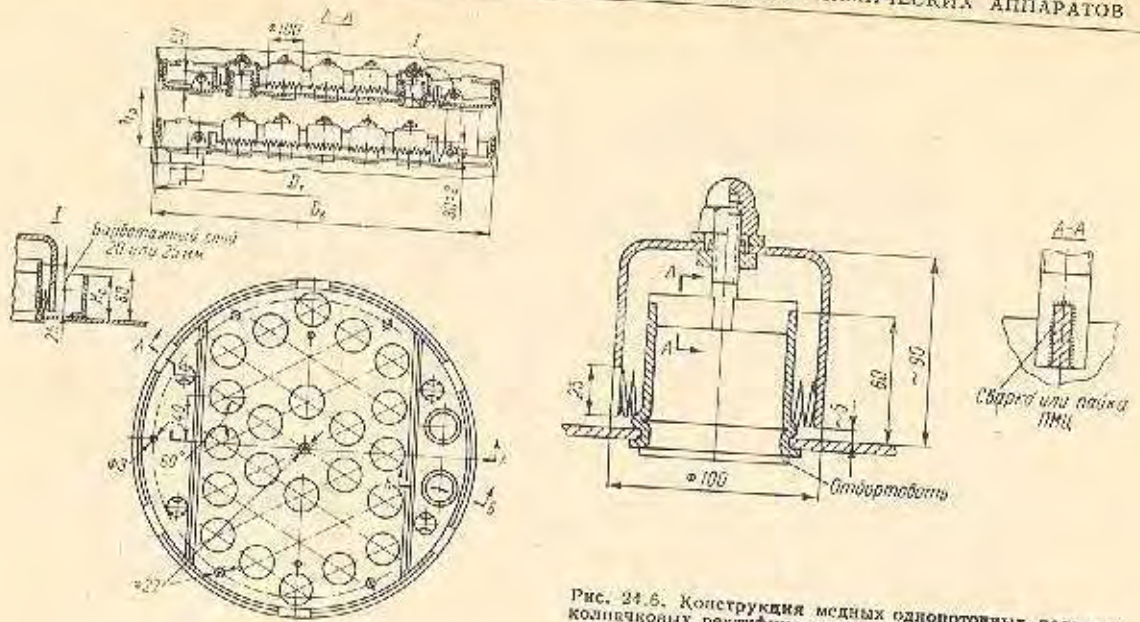


Рис. 24.6. Конструкция медных однофазных дельных кольцевых ректификационных тарелок типа ТМК-11 по МН 5209-64

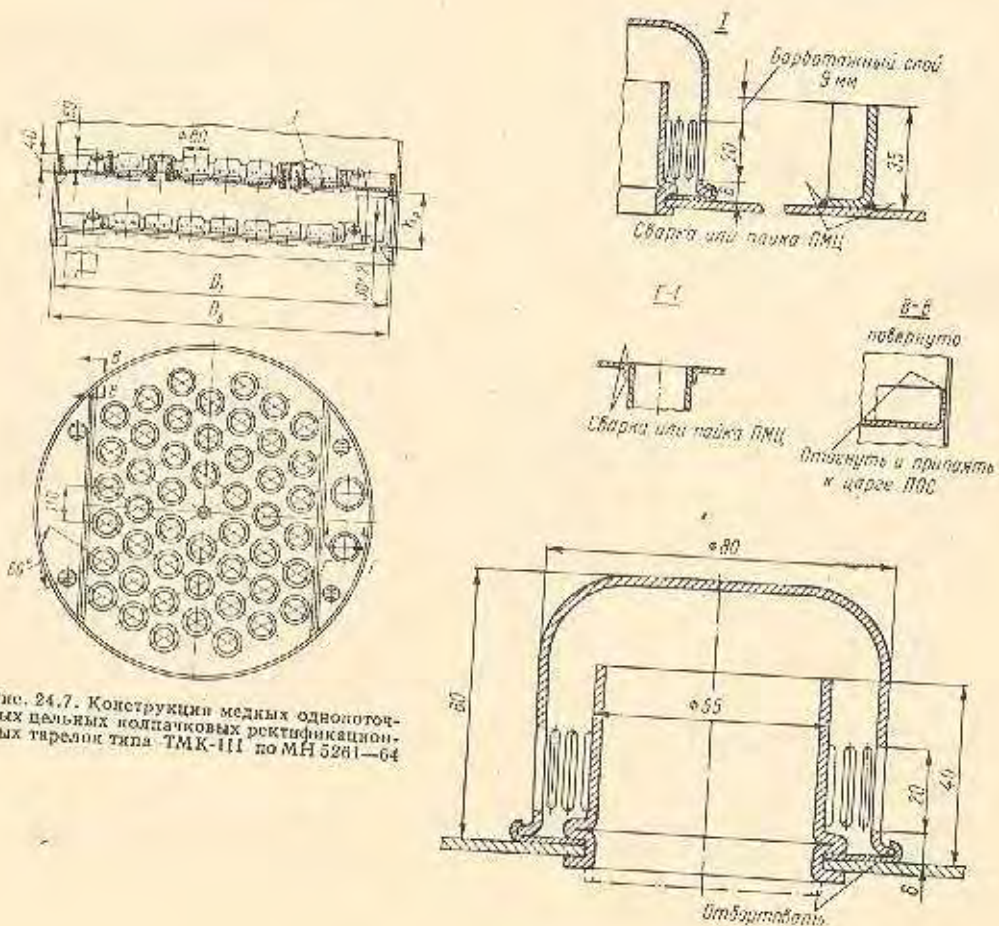


Рис. 24.7. Конструкция медных однофазных дельных nipple-образных ректификационных тарелок типа ТМК-111 по МН 5261-64

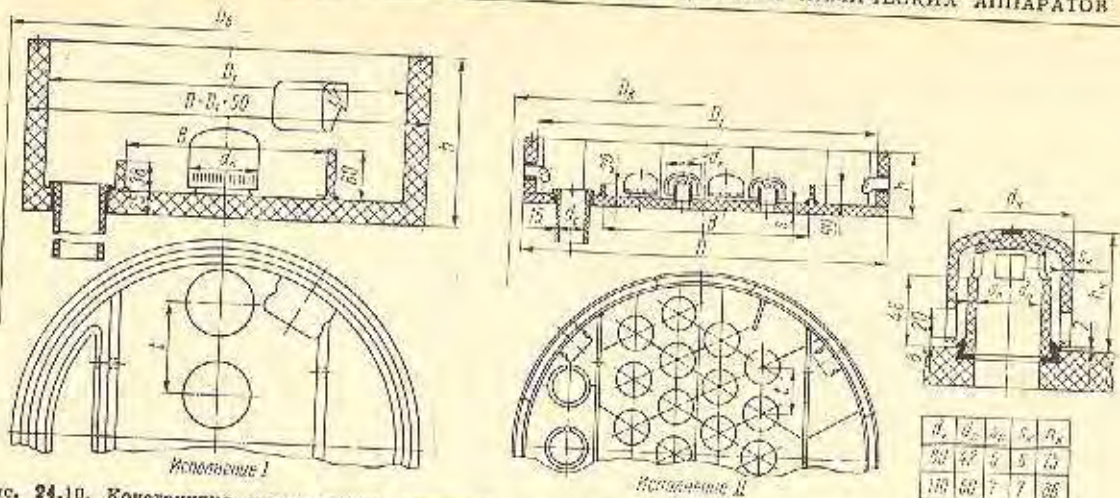


Рис. 24.10. Конструкция керамических однопочтовых ректификационных тарелок типа ТКК по ОН 26-01-11-65

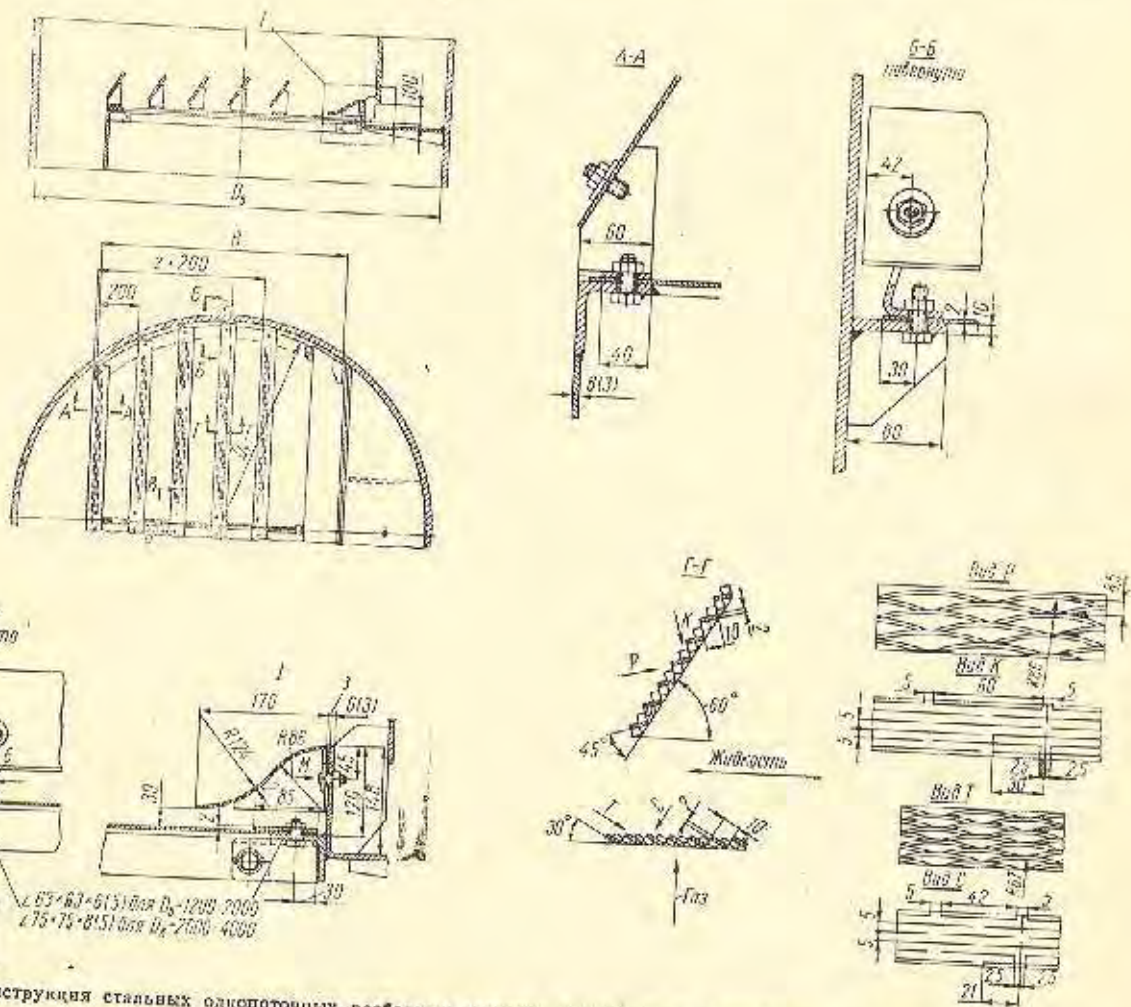


Рис. 24.11. Конструкция стальных однопочтовых разборных сетчатых с отбойными элементами ректификационных тарелок по ОН 26-02-30-66

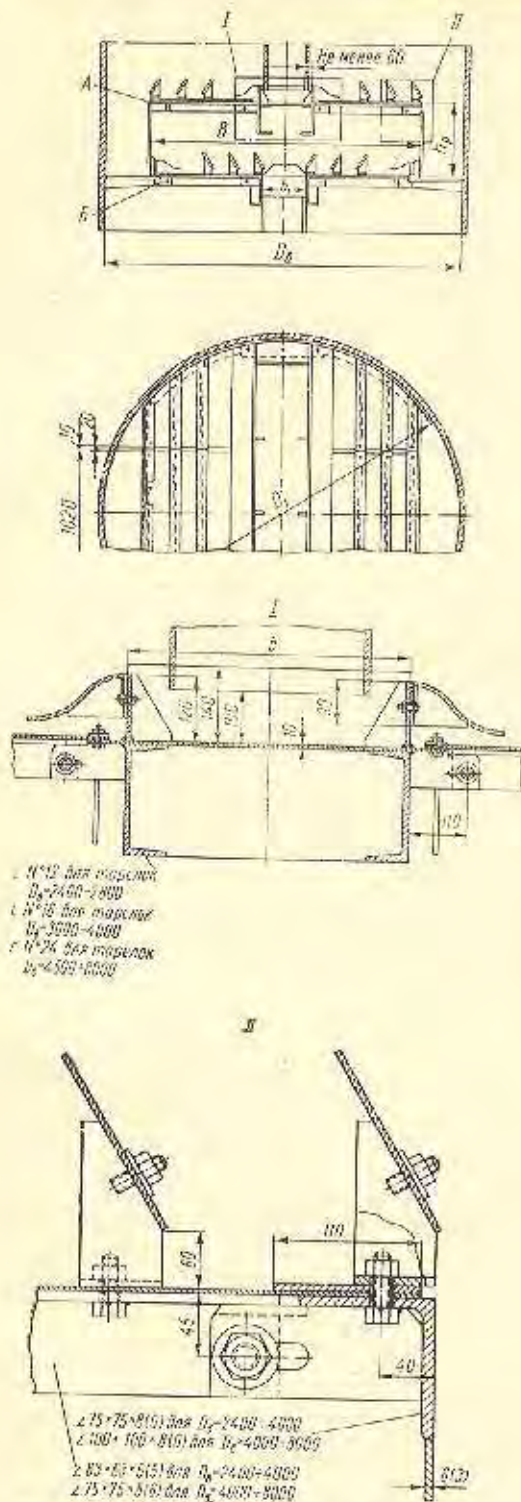


Рис. 24.12. Конструкция стальных двухпоточных разборных сегчатых с обгонными элементами ректификационных тарелок по ОН 28-02.30—66: А — исполнение III; В — исполнение IV

Изгибающий момент балки определяется, считая ее свободно опертой по краям.

Размещение балок (ребер) производится из конструктивных соображений и может быть как параллельным, так и радиальным. Большой частью, особенно в тарелках больших диаметров, размещение балок бывает параллельным, причем обычно ограничиваются одной, двумя или тремя балками. Рекомендуемое размещение балок см. на рис. 16.15.

Поперечное сечение балок целесообразно выбирать двутавровым или швеллерным цельным по соответствующим сортаментам (из углеродистой стали) или аналогичного профиля составным (из нержавеющей стали).

Расчет балок рекомендуется производить так же, как ребер плоских круглых днищ (см. п. 16.4). При этом наличие тарелки (днища) для упрочнения балок не учитывается.

Кроме расчета балок на прочность, их необходимо проверить на прогиб (посередине) y в м (см) по формуле

$$y = 0,013 \frac{bl^3 p}{E^2 J}, \quad (24.5)$$

где b — ширина части тарелки, нагрузка от которой воспринимается балкой, в м (см);

l — длина балки в м (см);

J — момент инерции поперечного сечения балки в м⁴ (см⁴).

Значение остальных величин см. выше.

Относительный прогиб балки не должен превышать

$\frac{1}{2000}$

24.2 НАСАДОЧНЫЕ РЕШЕТКИ И ТАРЕЛКИ

Наряду с тарельчатыми колонными аппаратами в химической, нефтехимической и других родственных областях промышленности весьма широко применяются насадочные колонные аппараты.

В таких аппаратах насадка (обычно из колец Рашига) занимает внутреннюю часть колонны, с помощью которой осуществляется интенсивный массообмен между стекающей вниз жидкостью и поднимающимся вверх паром или газом, как результат весьма развитой поверхности в единице объема, имеющейся в насадке.

Кольца Рашига имеют разные размеры и изготовляются из различных металлических (сталь, медь, латунь) и неметаллических (керамика, фарфор и др.) материалов.

Поскольку в нижней части насадочных колонн должны быть обеспечены определенные (свободные от насадки) емкости, насадка покоится на соответствующих в виде колесникообразных опорных решетках. Такие решетки должны иметь достаточное проходное сечение, быть прочными, иметь нагрузку от силы тяжести насадок и стекающей жидкости, и удерживать насадку, чтобы она не проваливалась в имеющиеся щели или отверстия в решетке.

В табл. 24.14 приведены основные данные о нормализованных решетках под указанные выше насадки из колец Рашига, а на рис. 24.19 показана конструкция этих решеток.

В табл. 24.15 приведены основные данные о нормализованных опорах и указанных решетках, а на рис. 24.20 показана конструкция опор.

Для более равномерного и полного массообмена по сечению насадки по высоте ее размещаются специальные тарелки: сверху — питающие, а в средней части — распределяющие.

В табл. 24.16 приведены основные данные о нормализованных насадочных тарелках, а на рис. 24.21 показаны конструкции этих тарелок.

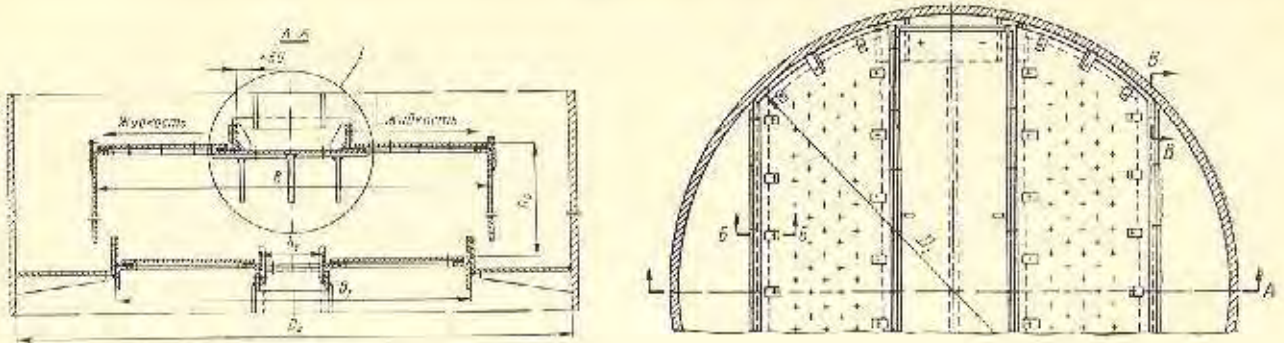


Рис. 24.14. Конструкция стальных разборных двухлоточных каскадных ректификационных тарелок по ОН 28-02-29—66

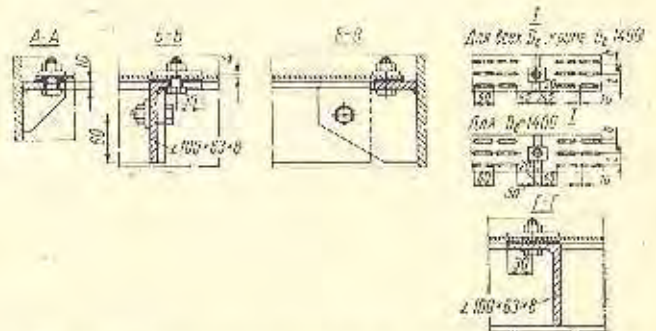
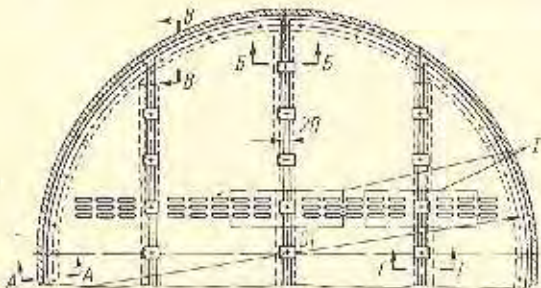
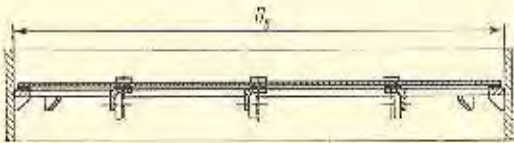
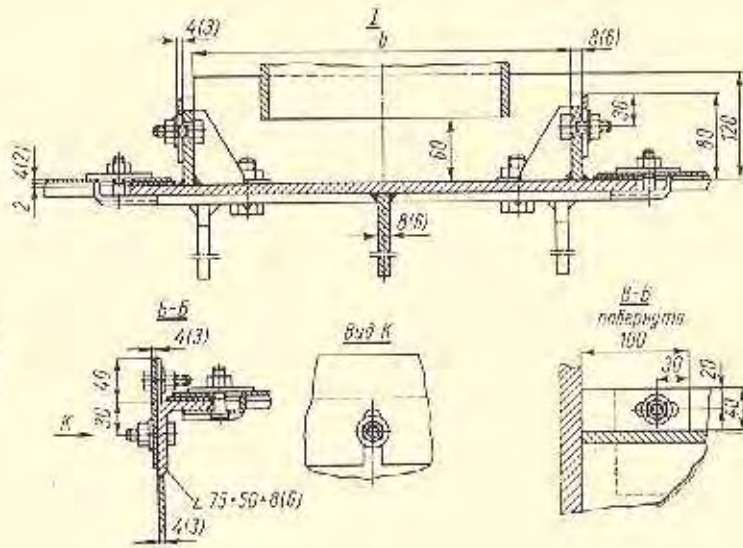


Рис. 24.15. Конструкция стальных разборных решетчатых ректификационных тарелок по Н 964—63 Гипроисфумашин

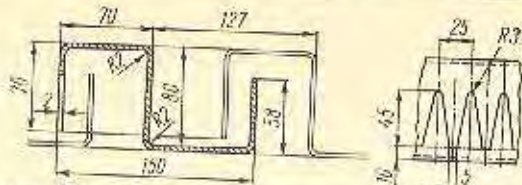


Рис. 24.16. Конструкция S-образного элемента в ректификационной тарелке с S-образными элементами

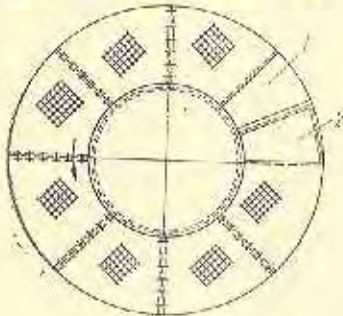


Рис. 24.17. Конструкция ситчатой тарелки с секторными переливными нагрубками: 1 — прием жидкости с вышестоящей тарелки; 2 — приемная сливной

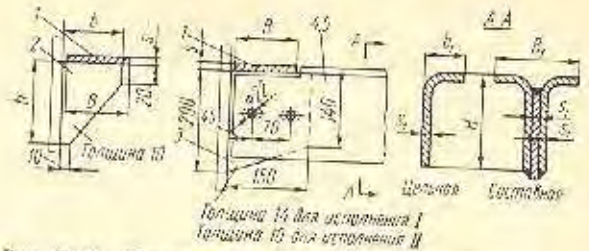


Рис. 24.20. Конструкция стальных опор для решеток под кольца Рашига по МН 4109-62-МН 4115-62

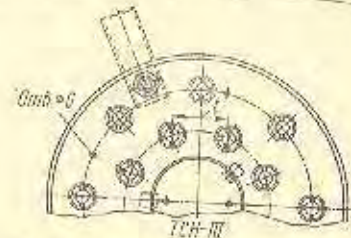
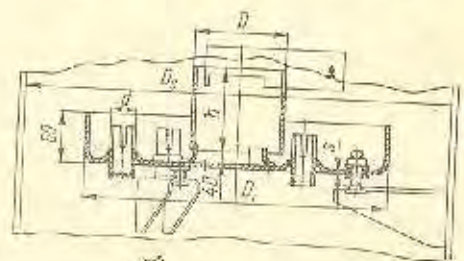
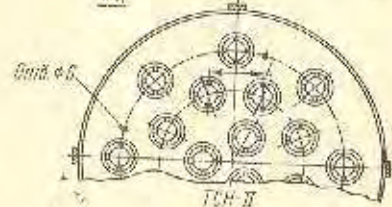
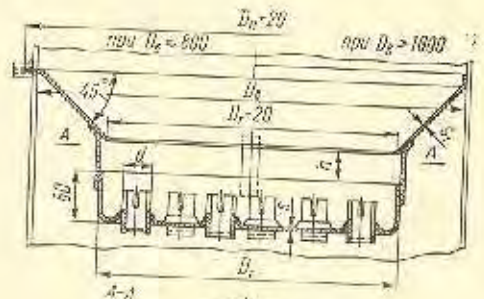


Рис. 24.21. Конструкция стальных насадочных тарелок типа ТСП-II и ТСП-III по ОН 26-01-15-65

Рис. 24.13. График для определения коэффициента K в формуле (24.4) для секции тарелки, свободно опертой на диаметр

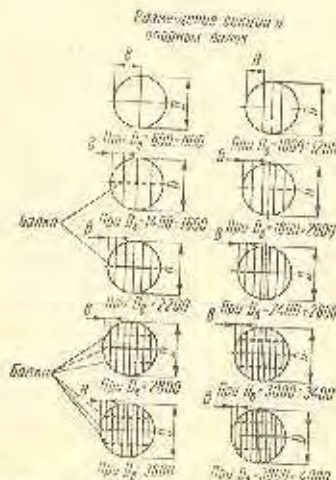
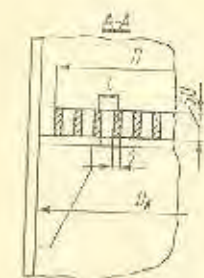
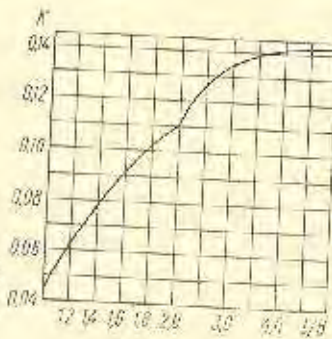


Рис. 24.19. Конструкция стальных решеток под насадку из колец Рашига диаметрами 25, 50 и 80 мм по МН 4095-62-МН 4109-62

Таблица 24.14

Продолжение табл. 24.14

Решетки под насадки из колец Рашига диаметрами 25, 50 и 80 мм стальные (по МН 4095—62—МН 4108—62)

Условное обозначение решетки $D_n = 500$ мм исполнения I под кольца Рашига диаметром 25 мм: «Решетка 1-500-25 МН 4095—62»

Номер МН	D_n	D	B	z	Исполнение					
					I		II		Масса, кг	
					t	s	мм			
4095—62	400	370	—	1	26	21	6	4	11,5	9,0
					46	43			9,5	7,0
					66	63			8,5	6,5
	500	480	—	1	26	21	6	4	17,0	13,5
					46	43			13,0	9,5
					66	63			11,0	8,5
4096—62	600	578	288	2	28	23	8	—	39,5	35,0
					48	45			30,0	22,5
					68	65			24,5	18,0
	700	682	340	2	28	23	8	—	54,0	48,0
					48	45			39,0	31,0
					68	65			33,0	26,0
4097—62	800	778	—	2	28	23	8	—	74,0	63,0
					48	45			53,0	40,0
					68	65			44,0	32,0
	1000	986	—	2	28	23	8	—	109	97,0
					48	45			79,0	61,0
					68	65			64,0	47,0
4098—62	1200	1168	—	3	30	23	6	—	176	136
					50	45			122	83,0
					70	65			100	64,0
	1400	1378	—	3	30	23	6	—	280	211
					50	45			205	140
					70	65			171	116
4099—62	1600	1658	—	4	30	23	10	—	346	252
					50	45			250	170
					70	65			214	136
	1800	1788	—	4	30	23	10	—	430	327
					50	45			305	210
					70	65			247	168
4100—62	2000	1956	—	5	30	23	10	—	565	426
					50	45			413	282
					70	65			348	230
	2200	2158	—	5	30	23	10	—	708	533
					50	45			523	351
					70	65			460	299

Номер МН	D_n	D	B	z	Исполнение						
					I		II		Масса, кг		
					t	s	мм				
4103—62	2400	2362	—	12	30	23	10	6	833	626	
					50	45			611	421	
					70	65			541	349	
	2600	2554	—	12	30	23	10	6	956	725	
					50	45			701	486	
					70	65			612	397	
4104—62	2800	2758	—	14	30	23	10	6	1348	1014	
					50	45			1052	736	
					70	65			959	638	
	3000	2960	—	14	30	23	10	6	1515	1137	
					50	45			1163	816	
					70	65			1069	703	
4105—62	3200	3156	—	16	30	23	10	6	1673	1257	
					50	45			1279	890	
					70	65			1152	760	
	4106—62	3400	3344	—	16	30	23	10	6	1885	1416
						50	45			1452	1001
						70	65			1276	852
3600		3556	—	16	30	23	10	6	2119	1584	
					50	45			1614	1116	
					70	65			1412	947	
4107—62	3800	3778	—	18	30	23	10	6	2275	1734	
					50	45			1740	1213	
					70	65			1519	1037	
	4000	3968	—	18	30	23	10	6	2521	1891	
					50	45			1912	1316	
					70	65			1642	1117	

Примечания:

1. Конструкцию решетки см. на рис. 24.19.
2. Решетки изготавливаются в двух исполнениях: I — из углеродистой стали марки Ст.3, II — из нержавеющей стали марки 0Х13.
3. Решетки рассчитаны на нагрузку (при $t_c \leq 250^\circ\text{C}$) от силы тяжести слоя насадки высотой: при $D_n \leq 3200$ мм $H = 3$ м, при $D_n = 3400-4000$ мм $H = 1$ м. Расчетная объемная масса насадки принята 670 кг/м³.
4. B — максимальная ширина отдельных секций составных решеток, z — число секций в решетке.
5. Опоры решеток см. в табл. 24.15 и на рис. 24.20.

Продолжение табл. 24.15

D_0 , мм	Исполнение	L_1	B	b	H	h	s	z	z_1	z_2	Детали				Σ
											1	2	3	4 и 5	
											Масса, кг				
3600	I	3235					14	12	6	3	121	5,76	16,2	506	649
	12						102				11,4		358	477	
3800	I	3210	100	80	190	120	14	12	6	3	128	5,76	16,2	526	676
	12						108				11,4		372	497	
4000	I	3445					14	12			135		16,2	557	714
	12						114				11,4		394	525	

Примечания:

1. Конструкцию опор см. на рис. 24.20.
2. Опоры изготавливаются в двух исполнениях: I — из углеродистой стали марки Ст.3 и II — из нержавеющей стали марки 0Х13.
3. Длина центральных опорных балок $L - D_0 = 20$ мм (L_1 — длина периферийных опорных балок); ширина составных балок B_1 — для исполнения I — $B_1 = 102$ мм, для исполнения II — $B_1 = 90$ мм; ширина цельных балок b_1 — для исполнения I — $b_1 = 44$ мм, для исполнения II — $b_1 = 40$ мм; толщина листа балок z_1 — для исполнения I $z_1 = 14$ мм, для исполнения II $z_1 = 10$ мм.
4. z — количество косынок 2, z_1 — количество косынок 3, z_2 — количество балок, Σ — суммарная масса опор.
5. В комплект опоры для одной решетки в зависимости от D_0 входят: опорное кольцо — 1, опорные косынки 2 и 3, опорные балки — одна центральная — 4 и две боковых — 5.
6. Опорное кольцо I — по МН 4113—62; косынки 2 — по МН 4115—62; косынки 3 — по МН 4114—62; опорная центральная балка 4 — цельная — по МН 4109—62, составная — по МН 4110—62 и 4111—62; опорная боковая балка 5 — по МН 4112—62.
7. Размещение опорных балок см. на рис. 24.19.

Таблица 24.16

Тарелки насадочные стальные типов ТСН-II и ТСН-III
(по ОН 26-01-15—65)Условное обозначение тарелки типа II $D_0 = 400$ мм из стали марки Ст.3:
«Тарелка ТСН-II 04—2 ОН 26-01-15—65»

D_0 , мм	F_0	F_1	D_T	d	t	ТСН-II					ТСН-III							
						F_2	h	z	У	Л	Q_0	F_0'	D	B	z	У	Л	Q_0'
400	0,126	0,080	320			0,0078	50	13	6,4	3,7	195	0,0073	100		12	5,6	3,8	180
500	0,196	0,096	350	32		0,0115		19	9,2	5,3	180	0,0097		100	16	6,9	4,7	155
600	0,283	0,113	380			0,0151	130	25	12,8	7,9	165	0,0127	130		21	7,4	5,0	145
800	0,503	0,181	480			0,0326		37	21,4	12,3	200	0,0313	160		24	10,9	7,6	190
1000	0,785	0,264	580	45		0,0471		61	32,5	18,7	190	0,0391	190	120	30	14,4	9,7	175
1200	1,13	0,478	780		80	0,0793	210	61	43,3	23,9	220	0,0703	220		54	23,6	15,7	190
1400	1,54	0,754	980			0,144		110	55,3	30,0	320	0,125	260		96	35,8	24,5	250
1600	2,01							110	84,2	51,4	330			150				280
1800	2,55	1,08	1170			0,242		156	87,6	54,3	270	0,211	310		96	52,3	34,0	240
2000	3,14	1,47	1370			0,343	310	156	121	87,4	300	0,313	330	180	142	68,4	52,4	270
2200	3,80	1,94	1570			0,467		212	156	116	335	0,427	360		194	89,8	72,2	305
2400	4,52			57	95			276	212	150	365			200	254	114	90,0	330
2600	5,31	2,46	1770			0,607		352	218	156	320	0,559	400		330	145	114	290
2800	6,16	3,14	2000			0,775		352	249	192	345	0,726	410					320

Примечания:

1. Конструкцию тарелок см. на рис. 24.21.
2. Тарелки подразделяются: тип II — перераспределяющие жидкость по высоте аппарата, заполненного насадкой из колец Рашига, тип III — питающие (распределительные) жидкость сверху аппарата.
3. Метрические тарелки и их детали см. в табл. 24.3.
4. Толщина тарелок: из углеродистой стали $z = 3$ мм, из легированной стали для $D_0 \leq 1600$ мм $z = 1,5$ мм, для $D_0 \geq 2000$ мм $z = 2$ мм. Толщина конуса: из углеродистой стали $z = 3$ мм, из легированной стали $z = 2$ мм.
5. F_0 — внутренняя площадь сечения аппарата, F_T — площадь тарелки, F_0' — площадь слива, z — количество патрубков, Q — максимальная нагрузка по жидкости, У и Л — соответственно для тарелок углеродистой и легированной сталей.

ТРУБНЫЕ РЕШЕТКИ

Одним из наиболее распространенных видов химических аппаратов являются теплообменные аппараты, а из числа последних особенно широкое применение в химической и многих других отраслях промышленности имеют кожухотрубные теплообменники.

Основные типовые конструкции плоских трубных решеток показаны на рис. 25.1, а сферических и эллиптических — на рис. 25.2.
 Типы I—III, VIII, X и XII—XV представляют собой трубные решетки, привариваемые к обечайке или днищу.

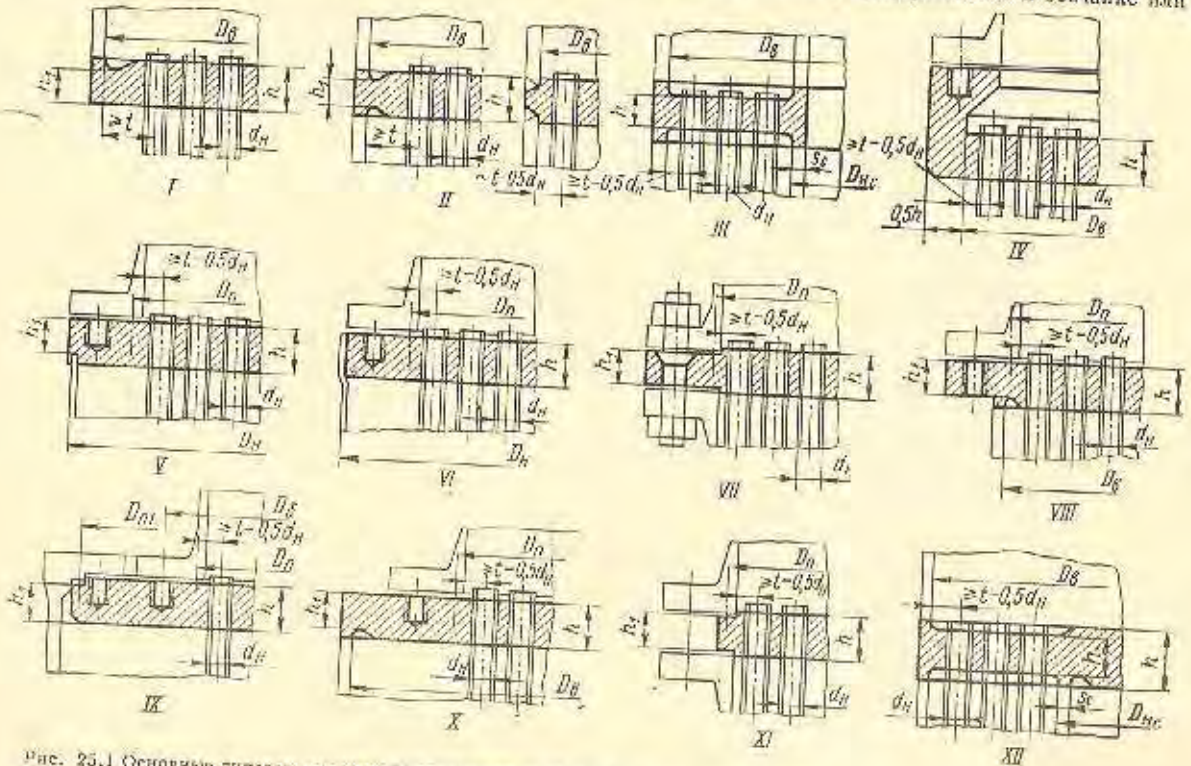


Рис. 25.1 Основные типовые конструкции плоских трубных решеток, применяемых в химическом аппаратостроении

Одним из основных элементов таких аппаратов являются трубные решетки, представляющие собой перегородки, в которых закрепляются трубы и которыми трубное пространство отделяется от межтрубного.

Типы V и VI — присоединяемые к обечайке с помощью пайки (только для аппаратов из меди и латуны); типы IV—VI предусматривают присоединение к трубным решеткам крышек, а типы VII—XI, XIII и XV — отъемное соединение трубных решеток с корпусом или крышкой.

Трубные решетки изготавливаются в основном из листового проката, а в ряде случаев — латуны, причем, как правило, материал решеток должен быть более прочным и жестким, чем материал труб.

Во всех кожухотрубных теплообменниках с жестким соединением трубных решеток с обечайкой корпуса, работающих под избыточным давлением в трубном или межтрубном пространствах, в месте соединения решетки с обечайкой действуют крайние моменты, вызывающие в нем соответствующие дополнительные напряжения. Эти напряжения в обечайке по мере удаления от места соединения с решеткой быстро уменьшаются.

С целью снижения концентрации указанных напряжений рекомендуется обечайку в месте присоединения ее к решетке на длине не менее $10s$ (но не менее 100 мм) выполнять утолщенной в 1,2—1,4 раза. Кроме того, место соединения утолщенной обечайки с решеткой целесообразно выполнять с галтелью радиусом, равным толщине присоединяемой стенки.

Для аппаратов из хрупких материалов или материалов, снижающих свою пластичность в рабочих условиях,

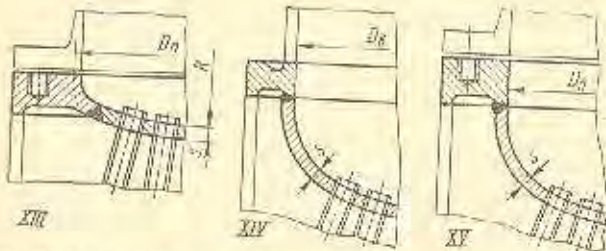


Рис. 25.2 Основные типовые конструкции сферических и эллиптических трубных решеток, применяемых в химическом аппаратостроении: XIII — сферическая; XIV и XV — эллиптические

По форме трубные решетки бывают круглые, кольцевые и прямоугольные. Наибольшее распространение имеют круглые решетки, которые могут быть плоскими, сферическими и эллиптическими.

Таблица 26.1

Количество труб в круглых плоских трубных решетках при размещении их по вершинам равносторонних треугольников и центрическим окружностям

Кол-во труб на диаметр	Размещение										Размещение													
	по вершинам равносторонних треугольников					по контактам треугольных окружностей					по вершинам равносторонних треугольников					по контактам треугольных окружностей								
	Количество труб										Количество труб													
	в сегментах					в сегментах					в сегментах					в сегментах								
в шестиугольнике	1-й ряд		2-й ряд		3-й ряд		в центре	в шестиугольнике	1-й ряд		2-й ряд		3-й ряд		в центре	в шестиугольнике	1-й ряд		2-й ряд		3-й ряд		в центре	в шестиугольнике
	1-й ряд	2-й ряд	3-й ряд	4-й ряд	5-й ряд	6-й ряд			7-й ряд	1-й ряд	2-й ряд	3-й ряд	4-й ряд	5-й ряд			6-й ряд	7-й ряд	1-й ряд	2-й ряд	3-й ряд	4-й ряд		
3	7						53	2107	22	20	14	—	—	—	—	336	2443	163	2193					
5	19						55	2259	24	21	15	6	—	—	—	390	2659	169	2362					
7	37						57	2437	25	22	16	9	—	—	—	426	2863	175	2537					
9	61						59	2611	26	22	17	11	—	—	—	456	3067	182	2719					
11	91						61	2791	27	23	18	13	—	—	—	486	3277	188	2907					
13	127						63	2977	27	24	19	14	—	—	—	504	3481	194	3101					
15	169					18	65	3169	29	25	21	15	—	—	—	540	3709	201	3302					
17	217					24	67	3367	26	26	22	16	7	—	—	600	3967	207	3509					
19	271					30	69	3571	27	27	23	19	10	—	—	660	4231	213	3722					
21	331					36	71	3781	31	28	25	20	11	—	—	690	4471	219	3941					
23	397					42	73	3997	33	29	26	21	12	—	—	726	4723	226	4167					
25	469					48	75	4219	33	30	27	22	15	—	—	762	4981	232	4399					
27	547					66	77	4447	34	31	28	23	16	—	—	792	5239	238	4637					
29	631					90	79	4681	35	32	29	24	17	—	—	822	5503	243	4880					
31	721					102	81	4921	36	33	30	25	18	—	—	894	5815	249	5129					
33	817					114	83	5167	37	34	31	26	20	7	—	948	6115	255	5384					
35	919					126	85	5419	38	35	32	27	21	13	—	996	6415	261	5645					
37	1027					138	87	5677	39	36	33	28	23	14	—	1088	6715	268	5913					
39	1141					162	89	5941	40	37	34	29	24	17	—	1088	6979	274	6187					
41	1261					198	91	6211	41	38	35	30	25	18	7	1164	7375	280	6467					
43	1387					228	93	6487	42	39	36	32	26	20	8	1218	7705	287	6754					
45	1519					246	95	6769	44	40	37	33	28	22	11	1290	8059	293	7047					
47	1657					264	97	7057	45	41	38	34	29	24	13	1320	8377	299	7346					
49	1801					294	99	7351	46	42	39	34	29	24	15	1362	8713	305	7651					
51	1951					312	101	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					

приведенные рекомендации являются обязательными при конструировании.

Размещение труб в трубных решетках (рис. 25.3) производится по вершинам равносторонних треугольников, вершинам квадратов и концентрическим окружностям. В ряде случаев встречается необходимость комбинированного размещения. Наиболее рациональным является размещение по вершинам равносторонних треугольников, при котором при одном и том же шаге между трубами на решетке помещается максимальное количество труб. Размещение по вершинам квадратов целесообразно производить при необходимости жестки межтрубного пространства.

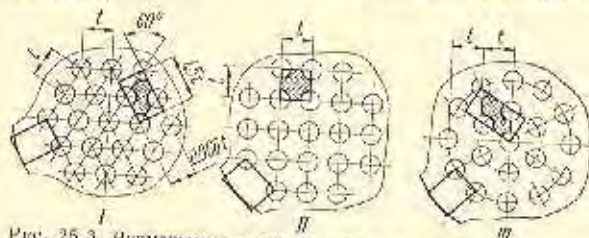


Рис. 25.3 Размещение труб в трубных решетках: I — по вершинам равносторонних треугольников; II — по вершинам квадратов; III — по концентрическим окружностям

В табл. 25.1 указано количество труб в круглых плоских трубных решетках при размещении их по вершинам равносторонних треугольников и концентрическим окружностям. В последнем случае количество труб на каждой из концентрических окружностей принимается по таблице для соответствующего количества труб на диаметре этих окружностей.

Для стальных сварных кожухотрубных теплообменников диаметром до 1400 мм с U-образными трубами наружным диаметром 25 и 20 мм размещение труб в трубных решетках (по вершинам квадратов и равносторонних треугольников) установлено ГОСТом 13203—67. Шаг между трубами в трубных решетках зависит от диаметра труб d_n и способа их закрепления. Способы закрепления труб в трубных решетках приведены в гл. 19. Минимальную величину шага между трубами t рекомендуется принимать по табл. 25.2. При этом в зависимости от способа закрепления труб значение величины простенка между трубами $t - d_n$ должно быть: при развальцовке $t - d_n \geq 5$ мм; при пайке $t - d_n \geq 4$ мм; при приварке — для $s \leq 2$ мм $t - d_n \geq 6$ мм, для $s > 2$ мм $t - d_n \geq 3s$, где s — толщина стенки трубы.

Расчетная температура трубных решеток определяется теплотехническим расчетом для наиболее неблагоприятного случая, возможного при эксплуатации.

Таблица 25.2

Величина минимального шага между трубами t в трубных решетках

d_n , мм	≤ 14	> 14 до 20	> 20 до 30	> 30
t	$1,4d_n$	$1,35d_n$	$1,3d_n$	$1,25d_n$

25.1 ПЛОСКИЕ КРУГЛЫЕ ТРУБНЫЕ РЕШЕТКИ

Типовые конструкции круглых плоских трубных решеток, показанные на рис. 25.1, применяются в конструктивно отличающихся друг от друга различных кожухотрубных аппаратах. Основные конструктивные схемы таких аппаратов показаны на рис. 25.4.

Выбор конструктивной схемы аппарата обусловливается химико-технологическими и теплотехническими соображениями.

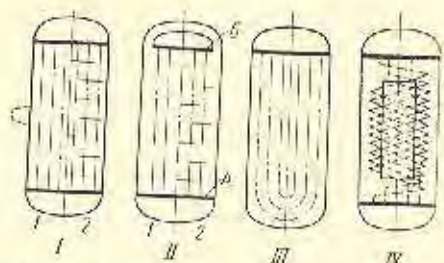


Рис. 25.4 Основные конструктивные схемы цилиндрических кожухотрубных теплообменников с плоскими трубными решетками: I — прямоугольный змеевик конструкции и жесткой (с компенсатором в корпусе); 2 — с перегородками; II — с плавающей головкой; III — с U-образными трубами; IV — с пачками трубами и сердечником, жесткой соединенным с трубными решетками

Определение толщины трубных решеток производится в зависимости от конструктивной схемы теплообменного аппарата и конструкции решетки для наиболее характерных мест ее: снаружи и посередине.

Расчет трубных решеток в аппаратах по конструктивным схемам II (решетка А) и III (рис. 25.4)

В этих случаях могут быть применены конструкции решеток типов II, V, VI, VII, VIII, X и XI (рис. 25.1).

Номинальную расчетную высоту решетки снаружи h'_1 в мм (см) для всех перечисленных типов (кроме VIII) рекомендуется определять по формуле

$$h'_1 = KD \sqrt{\frac{p}{\sigma_{ид}}} \quad (25.1)$$

Номинальную расчетную высоту решетки снаружи для типа VIII следует определять по формуле (23.1). Номинальную расчетную высоту решетки посередине h' в мм (см) для всех перечисленных типов следует определять по формуле

$$h' = KD \sqrt{\frac{p}{\varphi_0 \sigma_{ид}}} \quad (25.2)$$

Значения величины K , D и p в формулах (25.1) и (25.2) для каждого из типов решеток приведены в табл. 25.3; φ_0 — коэффициент ослабления решетки отверстиями, определяется по формуле (23.5); $\sigma_{ид}$ — допускаемое напряжение на изгиб для материала решетки в $МПа$ ($кг/см^2$).

Расчет средней части решеток типов V, VI, VIII, IX и X по формуле (25.2) производится для двух значений (указанных в табл. 25.3) K , D и p (верхнего и нижнего). За расчетное принимается большая величина.

Пример 25.1. Определить высоту плоской круглой трубной решетки типа II (рис. 25.1) в аппарате по конструктивной схеме II (решетка А, рис. 25.4) по следующим данным: $D_n = 0,65$ м; $p_m = 2,5$ $МПа$ (25 $кг/см^2$); $p_n = 1$ $МПа$ (10 $кг/см^2$); трубы 25×2 мм; число труб на диаметре $z = 15$; трубы размещены в решетке по рис. 25.3, тип I и закреплены в ней развальцов-

Таблица 25.3

Значения величин K , D и r в формулах (25.1) и (25.2) для различных типов трубных решеток (см. рис. 25.1)

Тип решетки	В формуле (25.1)			В формуле (25.2)		
	K	D	r	K	D	r
II	0,28	D_n	Большее r_m или r_m	0,47	D_n	Большее r_m или r_m
V и VI	0,36	D_n	r_m	K_2 по рис. 23.6	D_n	r_m
				0,6	D_n	r_m
VII	0,28	D_n	Большее r_m или r_m	0,47	D_n	Большее r_m или r_m
VIII	—	—	—	K_2 по рис. 23.6	D_n	r_m
				0,47	D_n	r_m
IX	0,36	D_{m1}	$r_{mф}$	K_2 по рис. 23.6	D_n	$r_{mф}$
				0,45	D_{m1}	$r_{mф}$
X	0,28	D_n	r_m	K_2 по рис. 23.6	D_n	r_m
				0,47	D_n	r_m
XI	0,36	D_n	Большее r_m или r_m	0,45	D_n	Большее r_m или r_m

$$= 0,47 \cdot 0,55 \sqrt{\frac{2,5}{0,318 \cdot 140}} = 0,0613 \text{ м.}$$

С учетом прибавок на коррозию C_k , на округление размеров, а также из конструктивных соображений, принимаем

$$h_1 = 30 \text{ мм и } h = 64 \text{ мм.}$$

Расчет трубных решеток в аппаратах по конструктивным схемам I и II (решетка B) (рис. 25.4)

Аппараты по конструктивной схеме I могут быть жесткой и нежесткой конструкций. Первая характеризуется жестким соединением обечайки и труб теплообменника с трубной решеткой, а вторая, благодаря наличию компенсатора (обычно на обечайке), допускает некоторое перемещение жестко соединенной с трубами трубной решетки относительно обечайки. Соображения по выбору жесткой или нежесткой конструкции аппарата по схеме I приведены в гл. 26.

По конструктивной схеме I могут быть применены конструкции решеток типов II, V, VI, VII, VIII, X и XI (рис. 25.1), а по конструктивной схеме II (решетка B) — типов I и IV.

Решетки в аппаратах по конструктивной схеме I нежесткой конструкции и решетку B в аппаратах по конструктивной схеме II рекомендуется рассчитывать следующим образом.

Упрощенно считается, что указанные решетки подперты трубами, работающими: в аппаратах по схеме I — на растяжение от давлений в трубном и межтрубном пространствах r_m и r_n , а в аппаратах по схеме II — на растяжение от давления в трубном пространстве r_m и на осевое сжатие — от давления в межтрубном пространстве r_n .

Напряжения в трубах на растяжение обычно не проверяют вследствие незначительной их величины. Что касается осевого сжатия, то оно может быть значительным и поэтому подлежит проверке.

В аппаратах по конструктивной схеме I, считая решетку упругой, средняя часть труб испытывает осевое сжатие, а наружная — растяжение.

Условие устойчивости труб при осевом сжатии в таких аппаратах, исходя из усредненной нагрузки на них от давления в трубном пространстве r_m , определяется по формуле

$$\frac{(D^2 - d_n^2) r_m}{(d_n^2 - d_s^2) z} \leq \varphi \sigma_{сж} \quad (25.3)$$

условие устойчивости труб в аппаратах по схеме II, являющееся обязательным, определяется по формуле

$$\frac{d_w^2 r_m}{d_n^2 - d_s^2} \leq \varphi \sigma_{сж} \quad (25.4)$$

где D — расчетный диаметр решетки в м (см);
 d_n и d_s — наружный и внутренний диаметры труб в м (см);
 r_m и r_n — расчетные давления в трубном и межтрубном пространствах в Мн/м^2 (кгс/см^2);
 $\sigma_{сж}$ — допускаемое напряжение на сжатие для материала труб в Мн/м^2 (кгс/см^2);
 φ — коэффициент уменьшения допускаемого напряжения при осевом сжатии. Определяется по графику рис. 15.9 в зависимости от гибкости трубы $\lambda = \frac{L}{r}$.

кой; t — 32 мм; материал решетки — сталь ($\sigma_{сж} = 140 \text{ Мн/м}^2$; $C_k = 2 \text{ мм}$).

Номинальную расчетную высоту решетки снаружи определяем по формуле (25.1), выбрав значения величин K , D и r в ней по табл. 25.3: $K = 0,28$, $D = D_n$ и $r = r_m$

$$h_1' = 0,28 D_n \sqrt{\frac{r_m}{\sigma_{сж}}} = 0,28 \cdot 0,55 \sqrt{\frac{2,5}{140}} = 0,0206 \text{ м.}$$

Коэффициент ослабления решетки отверстиями определяем по формуле (23.5)

$$\varphi_0 = \frac{D_n - \sum d}{D_n} = \frac{0,55 - 15 \cdot 0,025}{0,55} = 0,318.$$

Номинальную расчетную высоту решетки посередине определяем по формуле (25.2), выбрав значение величин K , D и r в ней по табл. 25.3: $K = 0,47$, $D = D_n$ и $r = r_m$

$$h' = 0,47 D_n \sqrt{\frac{r_m}{\varphi_0 \sigma_{сж}}}$$

Здесь L — расстояние между трубными решетками, а при наличии в трубном пучке поперечных перегородок — расстояние между последними в m (см);

$$r = 0,25 \sqrt{d_n^2 + d_a^2} \text{ м (см)} - \text{радиус инерции поперечного сечения трубы.}$$

Номинальную расчетную высоту трубных решеток N в m (см) типов II и XI (см. рис. 25.1) в аппаратах по схеме I жесткой конструкции и решетки B типов I и IV в аппаратах по схеме II при соблюдении условий (25.3) и (25.4) следует определять по формуле

$$h' = 0,525l \sqrt{\frac{p}{(1 - 0,7 \frac{d_n}{l}) \sigma_{\text{уд}}}} \quad (25.5)$$

где p — большее из расчетных давлений p_m или $p_{\text{н}}$ в Мн/м^2 (кгс/см^2);

l — максимальное среднее арифметическое сторон прямоугольника в решетке, образованного центрами четырех смежных труб или центрами двух смежных труб в крайнем ряду и контуром решетки по расчетному диаметру $s_e D$ (см. жарно очерченные прямоугольники на рис. 25.3) в m (см).

Минимальные значения l в части решетки, где расположены трубы, зависят от размещения их. При размещении труб: по типу II — $1,18t$; по типу III — t ; по типу III — $1,3t$.

Номинальную расчетную высоту решетки снаружи h_1 для типов V , VI , VII и X следует определять по формуле (25.1) так же, как и для аппаратов по схемам II (решетка A) и III , а типа $VIII$ — по формуле (23.1).

В тех случаях, когда условие (25.3) не выполнено, номинальную расчетную высоту решетки посередине h' в аппаратах по схеме I жесткой конструкции рекомендуется определять так же, как в аппаратах по схемам II (решетка A) и III — только на давление в трубном пространстве.

При этом в формуле (25.2) вместо p_m подставляется фиктивное давление $p_{\text{нф}}$ в Мн/м^2 (кгс/см^2)

$$p_{\text{нф}} = p_m - \frac{(d_n^2 - d_a^2) z}{D^2 - d_a^2} \varphi \sigma_{\text{сд}}^* \quad (25.6)$$

Определение номинальной расчетной высоты решеток всех типов в аппаратах по конструктивной схеме I жесткой конструкции приближенно рекомендуется производить аналогично таким же решеткам в аппаратах жесткой конструкции при условии возможности применения жесткой конструкции согласно данным, приведенным в гл. 26.

Уточненный расчет решеток в аппаратах жесткой конструкции по схеме I см. в ОН 26-01-13-65

Н 1039-65

Пример 25.2. Определить номинальную расчетную высоту плоской круглой трубной решетки типа I (рис. 25.1) в аппарате по конструктивной схеме II (решетка B , рис. 25.4) по следующим данным: $D_n = 0,5$ м; длина труб между поперечными перегородками $L = 0,5$ м; остальное — по примеру 25.1.

Из примера 25.1 имеем: $\sigma_{\text{уд}} = 140$ Мн/м^2 (1400 кгс/см^2); $p_m = 2,5$ Мн/м^2 (25 кгс/см^2); $p_n = 1$ Мн/м^2 (10 кгс/см^2); $t = 32$ мм; $s_n = 2$ мм; $d_n = 0,025$ м; $d_a = 0,021$ м.

* Второй член правой части формулы получен из уравнения (25.3), решая его относительно p_m , при котором обеспечивается устойчивость труб.

Определим радиус инерции поперечного сечения трубы

$$r = 0,25 \sqrt{d_n^2 + d_a^2} = 0,25 \sqrt{0,025^2 + 0,021^2} = 0,00815 \text{ м.}$$

Определим гибкость трубы

$$\lambda = \frac{L}{r} = \frac{0,5}{0,00815} = 61,4.$$

Находим по графику рис. 15.9 коэффициент уменьшения допускаемого напряжения осевого сжатия для $\lambda = 61,4$ $\varphi = 0,85$.

Проверим условие устойчивости труб по формуле (25.4)

$$\frac{d_n^2 p_m}{d_n^2 - d_a^2} = \frac{0,025^2 \cdot 1}{0,025^2 - 0,021^2} = 3,38 \text{ Мн/м}^2,$$

что $< \varphi \sigma_{\text{сд}} = 0,85 \cdot 140 = 119$ Мн/м^2 , т. е. устойчивость обеспечена. Определим среднее арифметическое сторон прямоугольника в решетке, образованного центрами четырех смежных труб

$$l_1 = 1,18t = 1,18 \cdot 0,032 = 0,0378 \text{ м;}$$

то же, образованного центрами двух смежных труб в крайнем ряду и контуром решетки

$$l_2 = \frac{D_n - t(z-1) + 2t}{4} = \frac{0,5 - 0,032(15-1) + 2 \cdot 0,032}{4} = 0,029 \text{ м.}$$

Расчетным является $l_1 = 0,0378$ м, как большее. Номинальную расчетную высоту решетки определяем по формуле (25.5)

$$h' = 0,525l \sqrt{\frac{p_m}{(1 - 0,7 \frac{d_n}{l}) \sigma_{\text{уд}}}} = 0,525 \cdot 0,0378 \sqrt{\frac{2,5}{(1 - 0,7 \frac{0,025}{0,0378}) 140}} = 0,00362 \text{ м.}$$

В данном случае высота решетки должна быть принята, исходя из условия надежности развальцовки труб и конструктивных соображений.

Расчет трубных решеток в аппаратах по конструктивной схеме IV (см. рис. 25.4)

В этих случаях могут быть применены конструкции решеток типов II , V , VI , VII , $VIII$, IX и X (см. рис. 25.1).

Расчет таких решеток рекомендуется производить аналогично решеткам по схемам II (решетка A) и III . При этом во всех случаях вместо расчетных p_m и p_n подставляются фиктивные расчетные давления $p_{\text{нф}}$ и $p_{\text{нф}}$ в Мн/м^2 (кгс/см^2):

$$p_{\text{нф}} = p_m \left(1 - \frac{d_n^2}{D^2} z \right); \quad (25.7)$$

$$p_{\text{нф}} = p_n \left(1 - \frac{d_n^2}{D^2} z \right); \quad (25.8)$$

где D — расчетный диаметр решетки в м (см). Принимаются по табл. 25.3 в зависимости от типа решетки.

Пример 25.3. Определить высоту трубной решетки типа IX (рис. 25.1) и аппарате по конструктивной схеме IV (рис. 25.4) по следующим данным: $p_m = p_n = 2,5 \text{ Мн/м}^2$ (25 кгс/см^2); $D_{n1} = 0,68 \text{ м}$; $D_n = 0,41 \text{ м}$; $D_{\bar{n}} = 0,515 \text{ м}$; $d_{\bar{n}} = M27 \text{ мм}$; трубы $12 \times 1,5 \text{ мм}$; $z = 410$; $l = 17 \text{ мм}$; закрепление труб в решетке на мягком припое, размещение — по концентрическим окружностям; количество труб на диаметре $z_1 = 23$; материал решетки — латунь ($\sigma_{ад} = 100 \text{ Мн/м}^2$); $C_K = 2 \text{ мм}$; $P'_C = 1,0 \text{ Мн}$; эффективная ширина прокладок $b_0 = 10 \text{ мм}$; прокладки паронитовые; коэффициент прокладки $k = 2,5$.

Фиктивное расчетное давление в трубном пространстве определяем по формуле (25.7)

$$p_{mф} = p_m \left(1 - \frac{d_{\bar{n}}^2}{D_n^2} z \right) = 2,5 \left(1 - \frac{0,009^2}{0,41^2} \cdot 410 \right) = 2 \text{ Мн/м}^2 \text{ (} 20 \text{ кгс/см}^2 \text{)}.$$

Фиктивное расчетное давление в межтрубном пространстве определяем по формуле (25.8)

$$p_{nф} = p_n \left(1 - \frac{d_n^2}{D_{n1}^2} z \right) = 2,5 \left(1 - \frac{0,012^2}{0,68^2} \cdot 410 \right) = 2,18 \text{ Мн/м}^2 \text{ (} 21,8 \text{ кгс/см}^2 \text{)}.$$

Номинальную расчетную высоту решетки снаружи определяем по формуле (25.1), выбрав значения величин K , D и p в ней по табл. 25.3: $K = 0,36$, $D = D_{n1}$ и $p = p_{nф}$

$$h'_1 = 0,36 D_{n1} \sqrt{\frac{p_{nф}}{\sigma_{ад}}} = 0,36 \cdot 0,68 \sqrt{\frac{2,18}{100}} = 0,036 \text{ м}.$$

Определим номинальную расчетную высоту решетки посередине сначала на $p_{mф}$, а затем на $p_{nф}$.

Коэффициент ослабления решетки отверстиями при расчете на $p_{mф}$ определяем по формуле (23.5)

$$\varphi_n = \frac{D_n - \sum d}{D_n} = \frac{0,41 - 23 \cdot 0,012}{0,41} = 0,327.$$

Значение безразмерного параметра *

$$\psi = 1 + \frac{8b_0h}{D_n} = 1 + \frac{8 \cdot 0,01 \cdot 2,5}{0,41} = 1,488.$$

Значение коэффициента K_2 при $\frac{D_{\bar{n}}}{D_n} = \frac{0,515}{0,41} = 1,255$

и $\psi = 1,488$ находим по графику рис. 23.6 $K_2 = 0,575$.

Номинальную расчетную высоту решетки посередине при расчете на $p_{mф}$ определяем по формуле (25.2), выбрав значения величин K и D по табл. 25.3: $K = K_2$, $D = D_n$

$$h' = K_2 D_n \sqrt{\frac{p_{mф}}{\varphi_n \sigma_{ад}}} =$$

$$= 0,575 \cdot 0,41 \sqrt{\frac{2}{0,327 \cdot 100}} = 0,0584 \text{ м}.$$

Коэффициент ослабления решетки отверстиями при расчете на $p_{nф}$ определяем по формуле (23.5)

$$\varphi_0 = \frac{D_{n1} - \sum d}{D_{n1}} = \frac{0,68 - 23 \cdot 0,012 - 2 \cdot 0,027}{0,68} = 0,515.$$

Номинальную расчетную высоту решетки посередине при расчете на $p_{nф}$ определяем по формуле (25.2), выбрав значения K и D по табл. 25.3: $K = 0,45$ и $D = D_{n1}$

$$h' = 0,45 D_{n1} \sqrt{\frac{p_{nф}}{0,515 \sigma_{ад}}} = 0,45 \cdot 0,68 \sqrt{\frac{2,18}{0,515 \cdot 100}} = 0,063 \text{ м}.$$

Окончательно расчетным является большее значение высоты решетки при расчете ее на $p_{nф}$. С учетом прибавки на коррозию принимаем $h_1 = 40 \text{ мм}$ и $h = 65 \text{ мм}$.

Расчет закрепления труб в трубных решетках

Расчетная осевая сила P'_m в Мн (кгс), действующая в месте закрепления трубы в решетке, зависит от конструктивной схемы теплообменника и принимается равной:

для аппаратов по схемам I (нежесткой конструкции)

$$P'_m = \frac{\pi}{4} \left(\frac{D^2}{z} - d_n^2 \right) p; \quad (25.9)$$

для аппаратов по схемам II, III и IV

$$P'_m = \frac{\pi}{4} d_n^2 p; \quad (25.10)$$

для аппаратов по схеме I (жесткой конструкции) — по (25.9),

где D — расчетный диаметр решетки в м (см);

d_n — наружный диаметр трубы в м (см);

z — количество труб;

p — большее из p_m или p_n в Мн/м² (кгс/см²).

Закрепление труб в решетке производится: стальных — развальцовкой, сваркой; из цветных металлов и сплавов — развальцовкой, сваркой, на мягком припое; из неметаллических материалов — на клею.

Наиболее надежным закреплением является сварка с последующей развальцовкой.

Расчетная высота трубной решетки h' в м (см), исходя из закрепления в ней труб развальцовкой, определяется по формуле *

$$h' \geq \frac{P'_m}{d_n q}, \quad (25.11)$$

где q — допускаемая нагрузка, приходящаяся на единицу условной поверхности развальцовки, в Мн/м² (кгс/см²).

* См. расчет крышек по формуле (23.3).

* По ОН 26-01-13-65 Н 1039-65

Кроме того, для стали

$$h' \geq \frac{4,35d_n + 15}{t - d_n} \text{ мм}, \quad (25.12)$$

но не менее 10 мм;
для меди и латуни

$$h' \geq \frac{9,5d_n + 25}{t - d_n} \text{ мм}, \quad (25.13)$$

но не менее 12 мм.

Допускаемая нагрузка, приходящаяся на единицу условной поверхности, q — в формуле (25.11) зависит от типа развальцовки и материала. В табл. 25.4 приведены значения q .

При закреплении труб в решетке сваркой, пайкой или на клею расчетная высота сварного или паяного

паяного, или клееного швов $h'_{ш}$ в м (см) определяется по формуле

$$h'_{ш} \geq \frac{P_m}{\lambda d_n \tau_{сд}}, \quad (25.14)$$

где $\tau_{сд}$ — допускаемое напряжение на срез для паяного шва в Мн/м^2 (кг/см^2).

Высота трубных решеток при закреплении труб одной сварке определяется только условиями прочности решетки. Высота трубных решеток h в м (см) при закреплении труб пайкой или клеевой определяется условиями прочности решетки и исходя из условия прочности шва конструктивных соображений должна быть не менее

$$h \geq h_{ш} + 0,005 \text{ (0,5)}. \quad (25.15)$$

Пример 25.4. Определить высоту трубных решеток к примерам 25.1 и 25.2, исходя из закреплении труб в решетках с помощью гладкой развальцовки.

Из примеров 25.1 и 25.2 имеем: большее давление в трубном пространстве $p_m = 2,5 \text{ Мн/м}^2$ (25 кг/см^2); диаметр трубы $d_n = 0,025 \text{ м}$; $t = 0,032 \text{ м}$.

Расчетную осевую силу, действующую в месте закреплении трубы в решетке, определяем по формуле (25.10)

$$P_m^* = \frac{\pi}{4} d_n^2 p_m = \frac{\pi}{4} 0,025^2 \cdot 2,5 = 0,00123 \text{ Мн (123 кг)}$$

Допускаемую нагрузку, приходящуюся на единицу условной поверхности, для стали при гладкой развальцовке выбираем по табл. 25.4 — $q = 15 \text{ Мн/м}^2$.

Расчетную высоту трубной решетки, исходя из закреплении и ней труб, определяем по формуле (25.11)

$$h' = \frac{P_m^*}{d_n q} = \frac{0,00123}{0,025 \cdot 15} = 0,00328 \text{ м};$$

то же — по формуле (25.12)

$$h' = \frac{4,35d_n + 15}{t - d_n} = \frac{4,35 \cdot 25 + 15}{32 - 25} = 17,6 \text{ мм}.$$

За расчетное принимаем большее значение h' — по формуле (25.12).

25.2. ПЛОСКИЕ КОЛЬЦЕВЫЕ ТРУБНЫЕ РИШЕТКИ (см. рис. 25.1, типа III и XII)

Такие решетки применяются преимущественно в кожухотрубных цельносварных теплообменниках с витыми трубами и жестким сердечником.

На указанные теплообменники имеется отраслевая норма ОН 26-01-52-67.

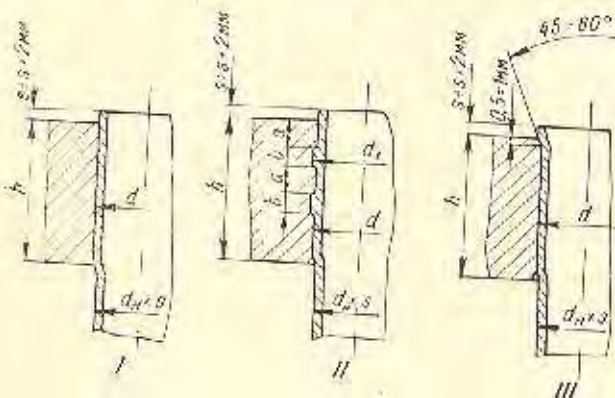
Расчет решеток для подобных теплообменников рекомендуется производить по приведенной ниже методике ЛенгИИХиммаша.

Расчетом определяется высота решетки и проверяется принятая толщина стетки сердечника при выбранном конструктивном и технологическом соотношении наружном диаметре его. Номинальная расчетная высота решетки снаружи h'_1 в м (см), считая ее жестко закрепленной по контуру (в записи расчета), определяется по формуле

$$h'_1 = D_{ко} \sqrt{\frac{p}{2K\sigma_{сд}}}, \quad (25.16)$$

Таблица 25.4

Значения допускаемой нагрузки, приходящейся на единицу условной поверхности, q при развальцовке труб в трубных решетках



Материал	Развальцовка		
	I (гладкая)	II (в кл. паяках)	III (с отбортовкой трубы)
Сталь	15	30	40
Цветные металлы и сплавы	15 $\frac{\sigma_T^*}{230}$	30 $\frac{\sigma_T^*}{230}$	40 $\frac{\sigma_T^*}{230}$

Примечание. Геометрические размеры стержней под развальцовку труб в трубных решетках [мм]: $a = 1,3a$, но не менее 5 и не более 10 мм; $b = s + 1$ мм. При $d_n = 20-40 \text{ мм}$ $d = (1,02-1,016) d_n$, $d_1 = d + 0,2s + 0,5$ мм; при $d_n > 40$ до 150 мм $d = (1,015-1,01) d_n$, $d_1 = d + 0,2s + 0,8$ мм.

Развальцовка производится на глубину не менее $1,5d_n$.

* σ_T^* — предел текучести цветного металла или сплава в Мн/м^2 .

где D_{nc} — наружный диаметр сердечника в м (см);
 p — приведенное давление на решетку в $Мн/м^2$ ($кгс/см^2$);
 $\sigma_{ад}$ — допустимое напряжение на изгиб для материала решетки в $Мн/м^2$ ($кгс/см^2$);
 $K = f\left(\frac{D_{nc}}{D_a}\right)$ — коэффициент, определяется по графику рис. 25.5.

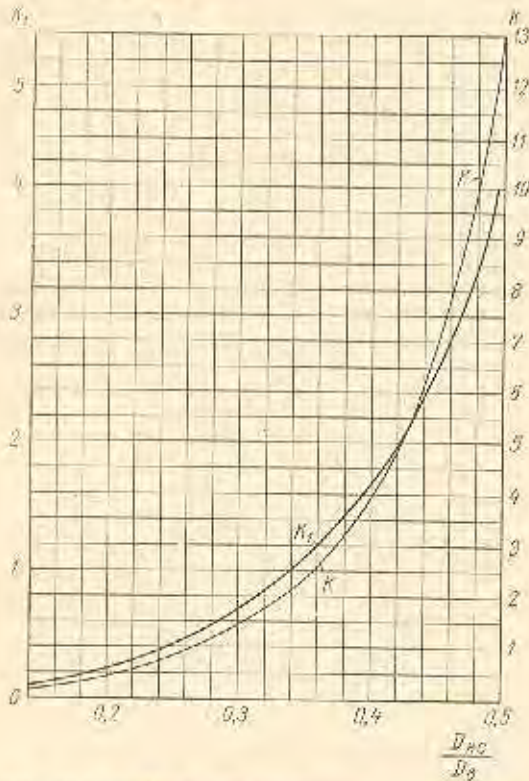


Рис. 25.5. Графики для определения коэффициентов K и K_1 в формулах (25.16) и (25.18)

Приведенное давление на решетку определяется: при расчете на давление в трубном пространстве p_m по формуле (25.7); при расчете на давление в межтрубном пространстве p_M по формуле

$$p_{мф} = p_m \left(1 - \frac{d_n^2 z}{D_a^2 - D_{nc}^2} \right), \quad (25.17)$$

где z — количество труб в решетке.
 Расчет решетки производится по большее из приведенных давлений.

Номинальная расчетная высота решетки посередине h' в м (см) определяется по формуле

$$h' = D_{nc} \sqrt{\frac{p}{2K_1 \sigma_{ад}}}, \quad (25.18)$$

где $K_1 = f\left(\frac{D_{nc}}{D_a}\right)$ — коэффициент, определяется по графику рис. 25.5.

Φ_a — коэффициент ослабления решетки отверстиями; значения остальных величин те же, что и в формуле (25.16).

Коэффициент ослабления решетки отверстиями определяется по формуле

$$\Phi_a = \frac{D_a - D_{nc} - d_n z_1}{D_a - D_{nc}}, \quad (25.19)$$

где z_1 — количество труб в решетке на диаметре.
 Расчетные высоты решетки снаружи h_1 и посередине h с учетом прибавок определяются по формуле (15.10) и окончательно принимаются по конструктивным соображениям.
 Напряжение в сердечнике от осевого сжатия или растяжения σ в $Мн/м^2$ ($кгс/см^2$) определяется по следующим формулам и должно быть:

при $p_m \geq p_M$

$$\sigma = \frac{\alpha^t l \Delta t E^t h^3 + K_1 p_m D_a^4}{K_2 D_a^2 F_c + l h^3 \left(\frac{F_c}{F_a} + 1 \right)} \leq \sigma_{ад}, \quad (25.20)$$

при $p_m < p_M$

$$\sigma = \frac{\alpha^t l \Delta t E^t h^3 + K_3 p_m D_a^4 + 0,785 p_m (D_a^2 - D_{nc}^2) \frac{l h^3}{F_a}}{K_2 D_a^2 F_c + l h^3 \left(\frac{F_c}{F_a} + 1 \right)} \leq \sigma_{ад}, \quad (25.21)$$

где l — длина сердечника между трубными решетками в м (см);
 $F_a = \pi (D_a + s) s$ — площадь поперечного сечения обечайки корпуса в $м^2$ ($см^2$);
 $F_c = \pi (D_{nc} - s_c) s_c$ — площадь поперечного сечения сердечника в $м^2$ ($см^2$);
 h — принятая высота решетки посередине в м (см);
 K_1, K_2 и K_3 — коэффициенты, определяются по графикам рис. 25.6;
 α^t — коэффициент линейного расширения для материала обечайки и сердечника при температуре их t в $1/^\circ C$;
 E^t — модуль упругости материала обечайки и сердечника (обычно одинаковый) в $Мн/м^2$ ($кгс/см^2$);
 Δt — максимальная возможная средняя разность температур обечайки и сердечника в $^\circ C$; принимается: при расчете по формуле (25.20) $\Delta t = t_c - t_0$, при расчете по формуле (25.21) $\Delta t = t_0 - t_c$.

При отсутствии указанной разности температур первые члены в числителях формул (25.20) и (25.21) равны нулю. Если условия (25.20) или (25.21) не выполнены, то толщину стенки сердечника необходимо соответственно увеличить.

Пример 25.5. Определить высоту кольцевой трубной решетки типа XII (см. рис. 25.1) для кожухотрубного теплообменника с витыми трубами и жестким сердечником по следующим данным: $p_m = p_M = 2,5$ $Мн/м^2$ (25 $кгс/см^2$), $D_a = 0,8$ м; $D_{nc} = 0,194$ м; расстояние между трубными решетками $l = 3$ м; трубы $16 \times 1,6$ мм; $z = 346$; количество труб на диаметре $z_1 = 32$; материал обечайки, сердечника и труб — углеродистая сталь ($\sigma_a = \sigma_{ад} = \sigma_{сд} = 140$ $Мн/м^2$, $E^t = 2,05 \cdot 10^5$ $Мн/м^2$); разность температур между обечайкой и сердечником $\Delta t = 5^\circ C$; толщина стенки обечайки $s = 10$ мм; $\alpha^t = 0,11 \cdot 10^{-4}$ $1/^\circ C$; $t_c > t_0$; C_k (двусторонняя) = 2 мм.

Приведенное давление в трубном пространстве определяем по формуле (25.7)

$$P_{m\phi} = P_m \left(1 - \frac{d_a^2 z}{D_o^2} \right) =$$

$$= 2,5 \left(1 - \frac{0,0128^2}{0,8^2} \cdot 346 \right) = 2,28 \text{ Мн/м}^2 \text{ (22,8 кгс/см}^2\text{)}.$$

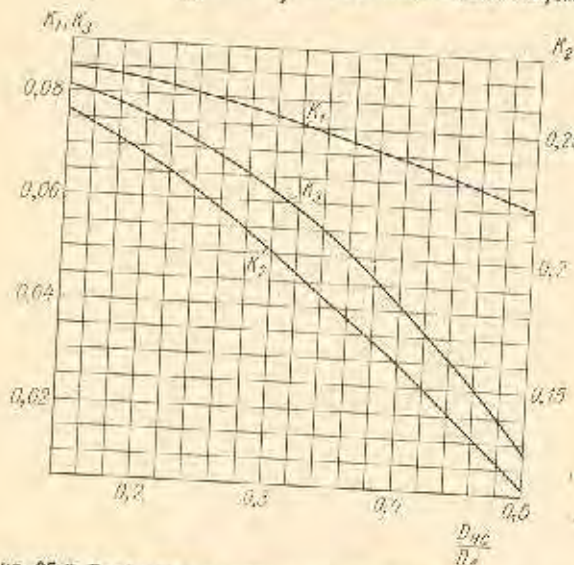


Рис. 25.6 Графики для определения коэффициентов K_1 , K_2 и K_3 в формулах (25.20) и (26.21)

Приведенное давление в межтрубном пространстве определяем по формуле (25.17)

$$P_{m\phi} = P_m \left(1 - \frac{d_a^2 z}{D_a^2 - D_{nc}^2} \right) =$$

$$= 2,5 \left(1 - \frac{0,016^2 \cdot 346}{0,8^2 - 0,194^2} \right) = 2,13 \text{ Мн/м}^2 \text{ (21,3 кгс/см}^2\text{)}.$$

Расчетным является большее приведенное давление $P_{m\phi}$.

Коэффициент ослабления решетки отверстиями определяем по формуле (25.19)

$$\varphi_0 = \frac{D_a - D_{nc} - d_a z_1}{D_a - D_{nc}} =$$

$$= \frac{0,8 - 0,194 - 0,0128 \cdot 32}{0,8 - 0,194} = 0,323.$$

Определим коэффициенты K и K_1 по графикам рис. 25.5 для $\frac{D_{nc}}{D_a} = \frac{0,194}{0,8} = 0,242$: $K = 0,8$, $K_1 = 0,4$.

Номинальную расчетную высоту решетки снаружи определяем по формуле (25.16)

$$h'_1 = D_{nc} \sqrt{\frac{P_{m\phi}}{2K\sigma_{ад}}} = 0,194 \sqrt{\frac{2,28}{2 \cdot 0,8 \cdot 140}} = 0,0196 \text{ м}.$$

Номинальную расчетную высоту решетки посередине определяем по формуле (25.18)

$$h'_2 = D_{nc} \sqrt{\frac{P_{m\phi}}{2K_1\varphi_0\sigma_{ад}}} =$$

$$= 0,194 \sqrt{\frac{2,28}{2 \cdot 0,4 \cdot 0,323 \cdot 140}} = 0,0487 \text{ м}.$$

Высоты решетки с учетом прибавок на коррозию округление размеров принимаем: $h_1 = 22 \text{ мм}$ и $h_2 = 52 \text{ мм}$.

Толщину стенки сердечника принимаем $s_c = 12 \text{ мм}$. Площадь поперечного сечения обечайки

$$F_0 = \pi (D_o + s) s = \pi (0,194 + 0,01) \cdot 0,01 = 254 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Площадь поперечного сечения сердечника

$$F_c = \pi (D_{nc} - s_c) s_c = \pi (0,194 - 0,012) \cdot 0,012 =$$

$$= 68,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Определим коэффициенты K_1 и K_2 по графикам рис. 25.6 для $\frac{D_{nc}}{D_a} = 0,242$: $K_1 = 0,0805$, $K_2 = 0,222$.

Напряжение в стенке сердечника на сжатие при действии одного давления P_m и наличии разности температур между обечайкой и сердечником (наихудший случай) определяем по формуле (25.20)

$$\sigma = \frac{\alpha^4 l \Delta t E^4 h^3 + K_1 P_m D_o^4}{K_2 D_o^2 F_c + l h^3 \left(\frac{F_c}{F_0} + 1 \right)} =$$

$$= \frac{0,11 \cdot 10^{-4} \cdot 3 \cdot 5 \cdot 2,05 \cdot 10^8 \cdot 0,052^3 + 0,0805 \cdot 2,5 \cdot 0,8^4}{0,222 \cdot 0,8^2 \cdot 68,6 \cdot 10^{-4} + 3 \cdot 0,052^3 \left(\frac{68,6}{254} + 1 \right)} =$$

$$= 57,9 \text{ Мн/м}^2 \text{ (579 кгс/см}^2\text{)} < \sigma_{ад} =$$

$$= 140 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1400 кгс/см}^2\text{)}.$$

25.3 ПЛОСКИЕ ПРЯМОУГОЛЬНЫЕ ТРУБНЫЕ РЕШЕТКИ

Такие решетки применяются сравнительно редко, например, в специальных аппаратах с кожухом коробчатой формы. Приближенный расчет таких решеток рекомендуется производить аналогично расчету плоских прямоугольных днищ или крышек (см. гл. 16 и 23) с учетом ослабления их отверстиями.

25.4 СФЕРИЧЕСКИЕ И ЭЛЛИПТИЧЕСКИЕ ТРУБНЫЕ РЕШЕТКИ

Такие решетки (см. рис. 25.2), представляющие собой соответствующие днища, в которых закрепляются трубы, целесообразно применять главным образом в кожухотрубных аппаратах с витыми трубами при относительно больших диаметрах корпуса $D_o \geq 1200 \text{ мм}$ и при избыточном давлении среды в аппарате $P_c \geq 2,5 \text{ Мн/м}^2$.

Приближенный расчет сферических и эллиптических трубных решеток рекомендуется производить аналогично расчету соответствующих днищ (см. в гл. 16). Коэффициент ослабления решетки отверстиями (в радиальном направлении) φ_0 определяется по формуле (15.11).

Номинальная расчетная толщина решетки, кроме того, должна отвечать значениям, вытекающим из условий закрепления труб в решетках.

Г Л А В \

КОМПЕНСАТОРЫ

В некоторых химических аппаратах, особенно в теплообменниках (кожухотрубных, с рубашкой и др.), различные части их в процессе эксплуатации имеют неодинаковые температуры, вызывающие в жестких конструкциях дополнительные температурные напряжения.

Жесткие конструкции неприменимы, если суммарные напряжения в них (от температуры, давления среды и различных внешних нагрузок) получаются выше допустимых. В таких случаях в аппаратах должны быть предусмотрены компенсаторы.

В химической аппаратуре применяются в основном следующие два вида компенсаторов:

гибкий компенсатор (линза, сиффон, мембрана), устанавливаемый между частями аппарата, имеющими разную температуру;

сальниковый компенсатор, позволяющий свободно перемещаться отдельным частям аппарата относительно друг друга.

Сила взаимодействия между жестко соединенными частями аппарата (например, между корпусом и трубами в теплообменном аппарате) за счет температурных напряжений P^t *Мн (кгс)* определяется по формуле

$$P^t = \frac{|\alpha_k^t(t_k - 20^\circ) - \alpha_m^t(t_m - 20^\circ)|}{\frac{1}{E_k^t F_k} + \frac{1}{E_m^t F_m}}, \quad (26.1)$$

где t_k и t_m — средние расчетные температуры корпуса и труб, исходя из максимальной разности температур, возможной в процессе эксплуатации, пуска и остановки аппарата, в $^\circ\text{C}$;

α_k^t и α_m^t — коэффициенты линейного расширения для материалов корпуса и труб при температурах t_k и t_m в $^\circ\text{C}$;

E_k^t и E_m^t — модули упругости для материалов корпуса и труб при температурах соответственно t_k и t_m в Мн/м^2 (кгс/см^2);

F_k и F_m — площади поперечного сечения корпуса и труб в м^2 (см^2)*.

Кроме сил P^t на жестко соединенные части аппарата могут действовать сила от давления среды P , а также какие-либо другие дополнительные нагрузки от силы тяжести и т. п., которые необходимо учитывать при определении суммарных напряжений в указанных частях аппарата.

В частности, для жестких теплообменников по схеме 1 (рис. 25.1) сила от давления среды в трубном и межтрубном пространствах P в *Мн (кгс)*, растягивающая в осевом направлении корпус и трубы, определяется по формуле

$$P = 0,785 [(D^2 - d_n^2) p_n + d_n^2 z p_m], \quad (26.2)$$

где D — расчетный диаметр трубной решетки в *м (см)*;

d_n и d_m — наружный и внутренний диаметры труб в *м (см)*;

z — количество труб.

Возможность применения жесткой конструкции зависит от допустимых максимальных осевых напряжений

в корпусе и трубах, от разности температур Δt между ними, от давлений в трубном и межтрубном пространствах, от того, какая часть аппарата (корпус или трубы) имеет более высокую температуру, а также от неблагоприятных возможностей при эксплуатации.

Исходя из указанного, условно считая трубные решетки жесткими (что идет в запас расчета) и пренебрегая их деформациями, рекомендуется жесткие конструкции в теплообменниках по схеме 1 (см. рис. 25.1) применять при соблюдении следующих условий:

при температуре корпуса большей, чем температура труб,

$$\sigma^k = \frac{P^t}{F_k} - \frac{PE_k^t}{E_k^t F_k + E_m^t F_m} \leq \sigma_{\theta}^k; \quad (26.3)$$

$$\sigma^k = \frac{P^t}{F_k} \leq \frac{\sigma_{ТК}^t}{1,1}; \quad (26.4)$$

$$\sigma^m = \frac{P^t}{F_m} + \frac{PE_m^t}{E_k^t F_k + E_m^t F_m} \leq \sigma_{\theta}^m; \quad (26.5)$$

при температуре корпуса меньшей, чем температура труб,

$$\sigma^k = \frac{P^t}{F_k} + \frac{PE_k^t}{E_k^t F_k + E_m^t F_m} \leq \sigma_{\theta}^k; \quad (26.6)$$

$$\sigma^m = \frac{P^t}{F_m} - \frac{PE_m^t}{E_k^t F_k + E_m^t F_m} \leq \sigma_{\theta}^m; \quad (26.7)$$

$$\sigma^m = \frac{P^t}{F_m} \leq \frac{\sigma_{ТМ}^t}{1,1}, \quad (26.8)$$

где σ_{θ}^k и σ_{θ}^m — допускаемые напряжения для материалов корпуса и труб в Мн/м^2 (кгс/см^2);
и σ^m — напряжения в корпусе и трубах в Мн/м^2 (кгс/см^2);

$\sigma_{ТК}^t$ и $\sigma_{ТМ}^t$ — пределы текучести материалов корпуса и труб при соответствующих расчетных температурах для них в Мн/м^2 (кгс/см^2);

P^t — по формуле (26.1) в *Мн (кгс)*;

P — по формуле (26.2) в *Мн (кгс)*.

Формулы (26.3), (26.5), (26.6) и (26.7) являются определяющими для рабочих условий, а (26.4) и (26.8) — для возможных (наиболее неблагоприятных) условий при эксплуатации (отсутствие давлений в трубном и межтрубном пространствах).

Расчет закрепления труб в трубных решетках жестких теплообменников в зависимости от способа закрепления труб см. в гл. 25.

Расчетная осевая сила P'_m в *Мн (кгс)* для таких теплообменников определяется по формуле

$$P'_m = 0,785 (d_n^2 - d_m^2) \sigma^m, \quad (26.9)$$

где σ^m — осевое напряжение в трубах, берется: при температуре корпуса большей, чем температура труб — по (26.5), при температуре корпуса меньшей, чем температура труб — большее значение из (26.7) и (26.8), в Мн/м^2 (кгс/см^2).

* Рекомендуется расчет производить раздельно для двух значений толщин стенок: δ и $\delta - C_k$.

При несоблюдении условий (26.3)–(26.8) жесткое соединение корпуса и труб с решеткой в теплообменнике, а также других аналогичных частей в аппаратах недолужитимо и на одной из этих частей (в теплообменниках чаще всего на корпусе) требуется установка компенсатора.

Пример 26.1. Определить, возможно ли при применении жесткой конструкции в цельносварном теплообменнике по схеме I (рис. 25.4) по следующим данным: $D_a = 0,5$ м; $l = 3$ м; $\rho_m = 4,0$ Мн/м² (10 кгс/см²); $\rho_k = 1,6$ Мн/м² (16 кгс/см²); $t_m = 250^\circ$ С; $t_k = 170^\circ$ С; $s_k = 5$ мм; трубы 25×2 мм; прибавка на коррозию для корпуса и труб $C_k = 1$ мм; $z = 187$; материал корпуса и труб — углеродистая сталь ($\sigma_{\text{к}}^{170} = 240$ Мн/м²; $\sigma_{\text{т}}^{250} = 200$ Мн/м²; $E_{\text{к}}^{170} = 1,9 \cdot 10^6$ Мн/м²; $E_{\text{т}}^{250} = 1,76 \cdot 10^6$ Мн/м²), $\alpha_{\text{к}}^t = \alpha_{\text{т}}^t = 0,11 \cdot 10^{-4}$ 1/°С; $\sigma_{\text{д}}^k = 150$ Мн/м² (1500 кгс/см²); $\sigma_{\text{д}}^m = 140$ Мн/м² (1400 кгс/см²).

Площадь поперечного сечения корпуса при толщине стенки его s_k

$$F_k = \pi (D_a + s_k) s_k = \pi (0,5 + 0,005) 0,005 = 79 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Площадь поперечного сечения корпуса при толщине стенки его $s_k - C_k$

$$F_{k1} = \pi (D_a + s_k + 2C_k) (s_k - C_k) = \pi (0,5 + 0,005 + 0,002) (0,005 - 0,001) = 63,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Площадь поперечного сечения труб при толщине стенки их s_m

$$F_m = \pi (d_n - s_m) s_m z = \pi (0,025 - 0,002) 0,002 \cdot 187 = 270 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Площадь поперечного сечения труб при толщине стенки их $s_m - C_k$

$$F_{m1} = \pi (d_n - s_m + 2C_k) (s_m - C_k) z = \pi (0,025 - 0,002 + 0,002) (0,002 - 0,001) 187 = 147 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Силу взаимодействия между корпусом и трубами (при жестком соединении их друг с другом) за счет температурных напряжений определяем по формуле (26.1); при толщинах стенок s_k и s_m

$$P^t = \frac{\alpha_{\text{к}}^t | (t_{\text{к}} - 20) - (t_{\text{м}} - 20) |}{\frac{1}{E_{\text{к}}^t F_{\text{к}}} + \frac{1}{E_{\text{т}}^t F_{\text{т}}}} = \frac{0,11 \cdot 10^{-4} | (170 - 20) - (250 - 20) |}{\frac{1}{1,9 \cdot 10^6 \cdot 79 \cdot 10^{-4}} + \frac{1}{1,76 \cdot 10^6 \cdot 270 \cdot 10^{-4}}} = 1,0 \text{ Мн (100 000 кгс)},$$

при толщинах стенок $s_k - C_k$ и $s_m - C_k$

$$P_1^t = \frac{\alpha_{\text{к}}^t | (t_{\text{к}} - 20) - (t_{\text{м}} - 20) |}{\frac{1}{E_{\text{к}}^t F_{\text{к}1}} + \frac{1}{E_{\text{т}}^t F_{\text{т}1}}} = \frac{0,11 \cdot 10^{-4} | (170 - 20) - (250 - 20) |}{\frac{1}{1,9 \cdot 10^6 \cdot 63,6 \cdot 10^{-4}} + \frac{1}{1,76 \cdot 10^6 \cdot 147 \cdot 10^{-4}}} = 0,725 \text{ Мн (72 500 кгс)},$$

Силу, растягивающую в осевом направлении корпус и трубы от давления среды в трубном и межтрубном пространствах, определяем по формуле (26.2)

$$P = 0,785 [(D_a^2 - d_n^2) \rho_m + d_n^2 \rho_m] = 0,785 [(0,5^2 - 0,025^2 \cdot 187) 1,6 + 0,025^2 \cdot 187 \cdot 4] = 0,425 \text{ Мн (42 500 кгс)}.$$

Суммарное напряжение на растяжение в корпусе определяем по формуле (26.6); при толщинах стенок s_k и s_m

$$\sigma^k = \frac{P^t}{F_k} + \frac{PE_{\text{к}}^t}{E_{\text{к}}^t F_{\text{к}} + E_{\text{т}}^t F_{\text{т}}} = \frac{1,0}{79 \cdot 10^{-4}} + \frac{0,425 \cdot 1,9 \cdot 10^6}{1,9 \cdot 10^6 \cdot 79 \cdot 10^{-4} + 1,76 \cdot 10^6 \cdot 270 \cdot 10^{-4}} = 126,5 + 11,3 = 137,8 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1378 кгс/см}^2\text{)} < \sigma_{\text{д}}^k = 150 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1500 кгс/см}^2\text{)},$$

т. е. условие (26.6) обеспечено; при толщинах стенок $s_k - C_k$ и $s_m - C_m$

$$\sigma_1^k = \frac{P_1^t}{F_{k1}} + \frac{PE_{\text{к}}^t}{E_{\text{к}}^t F_{\text{к}1} + E_{\text{т}}^t F_{\text{т}1}} = \frac{0,725}{63,6 \cdot 10^{-4}} + \frac{0,425 \cdot 1,9 \cdot 10^6}{1,9 \cdot 10^6 \cdot 63,6 \cdot 10^{-4} + 1,76 \cdot 10^6 \cdot 147 \cdot 10^{-4}} = 114 + 21,2 = 135,2 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1352 кгс/см}^2\text{)} < \sigma_{\text{д}}^k = 150 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1500 кгс/см}^2\text{)},$$

т. е. также условие (26.6) обеспечено. Суммарное напряжение на сжатие в трубах определяем по формуле (26.7); при толщинах стенок s_k и s_m

$$\sigma^m = \frac{P^t}{F_m} - \frac{PE_{\text{т}}^t}{E_{\text{к}}^t F_{\text{к}} + E_{\text{т}}^t F_{\text{т}}} = \frac{1,0}{270 \cdot 10^{-4}} - \frac{0,425 \cdot 1,76 \cdot 10^6}{1,9 \cdot 10^6 \cdot 79 \cdot 10^{-4} + 1,76 \cdot 10^6 \cdot 270 \cdot 10^{-4}} = 36,1 - 10,5 = 25,6 \text{ Мн/м}^2 \text{ (256 кгс/см}^2\text{)} < \sigma_{\text{д}}^m = 140 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1400 кгс/см}^2\text{)},$$

т. е. условие (26.7) обеспечено; при толщинах стенок $s_k - C_k$ и $s_m - C_m$

$$\sigma_1^m = \frac{P_1^t}{F_{m1}} - \frac{PE_{\text{т}}^t}{E_{\text{к}}^t F_{\text{к}1} + E_{\text{т}}^t F_{\text{т}1}} = \frac{0,725}{147 \cdot 10^{-4}} - \frac{0,425 \cdot 1,76 \cdot 10^6}{1,9 \cdot 10^6 \cdot 63,6 \cdot 10^{-4} + 1,76 \cdot 10^6 \cdot 147 \cdot 10^{-4}} = 48,3 - 19,6 = 28,7 \text{ Мн/м}^2 \text{ (287 кгс/см}^2\text{)} < \sigma_{\text{д}}^m = 140 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1400 кгс/см}^2\text{)},$$

т. е. условие (26.7) также обеспечено.

Величину температурных напряжений в трубах проворим по условию (26.8):

при толщине стенок s_k и s_m

$$\sigma^m = \frac{P^t}{F_m} = \frac{1,0}{270 \cdot 10^{-4}} = 36,1 \text{ Мн/м}^2 \text{ (361 кгс/см}^2\text{)} <$$

$$< \frac{\sigma_{Tm}^t}{1,1} = \frac{200}{1,1} = 182 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1820 кгс/см}^2\text{)},$$

т. е. условие (26.8) обеспечено;

при толщине стенок $s_k - C_k$ и $s_m - C_k$

$$\sigma_1^m = \frac{P_1^t}{F_{m1}} = \frac{0,725}{147} = 48,3 \text{ Мн/м}^2 \text{ (483 кгс/см}^2\text{)} <$$

$$< \frac{\sigma_{T01}^t}{1,1} = \frac{200}{1,1} = 182 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1820 кгс/см}^2\text{)},$$

т. е. условие (26.8) также обеспечено.

Поскольку все три условия (26.6), (26.7) и (26.8) обеспечены, применение жесткой конструкции теплообменника допустимо.

26.1 ВОЛНОВЫЕ КОМПЕНСАТОРЫ

К волновым компенсаторам относятся линзовые компенсаторы и сиффоны.

Из числа таких компенсаторов для круглых частей аппарата, имеющих диаметр 100 мм и выше, линзовые компенсаторы пользуются наиболее широким распространением.

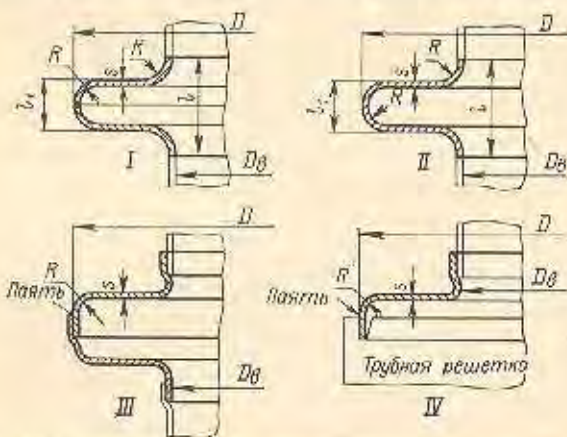


Рис. 26.1 Основные типовые конструкции круглых металлических линзовых компенсаторов, применяемых в химической аппаратуре: I — сварной из двух штампованных полулинз; II — сварной из нескольких секторных частей, соединяемых по радиальным плоскостям; III — для меди и латуни из двух полулинз, соединяемых на мягком припое; IV — для меди и латуни из одной полулинзы, устанавливаемой между обечайкой и трубной решеткой на жестком припое. Во всех случаях $R \geq 5s$

нием в химической аппаратуре (кожухотрубные теплообменники жесткой конструкции по схеме I, рис. 25.4, трубопроводы и т. п.).

На рис. 26.1 показаны основные типовые конструкции круглых металлических линзовых компенсаторов, применяемых в химической аппаратуре.

Линзовые компенсаторы могут применяться как в вертикальных, так и в горизонтальных аппаратах и трубо-

проводах. Область применения их ограничивается относительно небольшими избыточными давлениями, обычно не более 1,6 Мн/м². Вместе с тем, в последнее время линзовые компенсаторы стали с успехом применять и при более высоких давлениях 2,5, 4,0 и даже 6,4 Мн/м² [201] с введением разгружающих и ограничительных устройств.

В горизонтальных аппаратах и трубопроводах линзовые компенсаторы должны иметь дренажные отводы (из каждой линзы).

Компенсирующая способность линзового компенсатора примерно пропорциональна количеству линз, которое, однако, более четырех в одном компенсаторе применять не рекомендуется.

Для увеличения компенсирующей способности линзовых компенсаторов последние следует при установке предварительно сжать, если они предназначены для работы на растяжение, и растянуть, если они предназначены для работы на сжатие. Предварительное сжатие или растяжение компенсаторов при этом производится на полную допустимую деформацию, чем и удваивается его компенсирующая способность.

Для уменьшения сопротивления движению среды внутри обечайки или трубы устанавливается стакан, привариваемый к обечайке или трубе с одной стороны: при вертикальном расположении компенсатора — сверху, при горизонтальном — со стороны движения среды.

Конструкция, размеры и характеристики одно-, двух-, трех- и четырехлинзовых компенсаторов для трубопроводов из углеродистой стали на p_D до 0,6 Мн/м² установлены нормами: со стаканом — по МН 2894—62, без стакана — по МН 2895—62.

Аналогичные конструкции одно-, двух-, трех- и четырехлинзовых компенсаторов из углеродистой и высоколегированной стали на $p_D = 0,6 + 1,6$ Мн/м² (без присоединительных патрубков, с присоединительными патрубками и с присоединительными патрубками и стаканом) установлены нормами ОН 26-01-79—68.

В табл. 26.1 приведены основные данные о линзах для компенсаторов по МН 2894—62 и 2895—62, а в табл. 26.2 — для компенсаторов по ОН 26-01-79—68.

Другим видом гибких волновых компенсаторов, также имеющих широкое применение в отдельных узлах химической аппаратуры, являются сиффоны, изготавливаемые из различных сталей и их сплавов, а также неметаллических материалов. Сиффоны отличаются от линзовых компенсаторов относительно меньшими диаметрами, большим количеством волн (гофров), а главное — значительно меньшей толщиной стенки. Существует весьма много конструкций сиффонов, которые изготавливаются как одно-, так и многослойными с количеством волн до 20 и более. Конструкция и размеры сиффонов из бронзы, латуни и стали установлены: для однослойных МН 418—64 — МН 426—64, МН 428—64 — МН 431—64, для многослойных НАС 350—59 и рядом других нормами.

Основным характеристикам сиффонов, применяемых в химических аппаратах, относятся: размеры сиффона (наружный и внутренний диаметры, толщина стенки, длина), компенсирующая способность (ход), жесткость, эффективная площадь и максимальное допустимое давление.

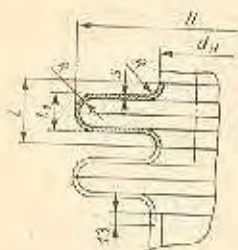
Все эти данные обычно приводятся в соответствующих нормальных на сиффоны.

Жесткость — сопротивляемость сиффона осевым деформациям — определяется отношением осевой нагрузки, приложенной к сиффону, к прогибу (растяжению или сжатию) его, соответствующему данной нагрузке.

При прочих равных условиях жесткость сиффона изменяется прямо пропорционально модулю упругости материала сиффона и приблизительно кубу толщины стенки его и обратно пропорционально квадрату наружного диаметра сиффона и количеству волн (гофров) в нем.

Линзы для компенсаторов из углеродистой стали на $p_H \leq 0,6 \text{ Мн/м}^2$
(по МН 2896—62 и приложению к МН 2894—62 и 2895—62)

Условное обозначение полулинзы для компенсатора на $p_H = 0,25 \text{ Мн/м}^2$, $D_y = 250 \text{ мм}$:
«Полулинза 2,5—250 МН 2896—62»



p_H , Мн/м ²	D_y	d_H	D	l	l ₁	R	s	A_d	Силы		Масса полу- линзы, кг
									P_K	P_P	
0,02 0,1 0,25 0,4 0,6	100	108	420	120	64	25	2,5	48	0,0065	0,0009 0,0043	3,14
300			100	54	20	15						0,0075 0,0071	0,0054 0,0084
								3,5	9,5	0,0134	0,0121	1,61 2,22
0,02 0,1 0,25 0,4 0,6	125	133	470	120	64	25	2,5	49	0,0067	0,0011 0,0055	3,82
330			100	54	20	15						0,008 0,0076	0,0065 0,010
								3,5	9,5	0,0144	0,0144	1,86 2,55
0,02 0,1 0,25 0,4 0,6	150	159	520	140	72	30	2,5	51	0,007	0,0013 0,0066	4,65
380			100	54	20	16						0,0086 0,0082	0,0075 0,0116
								3,5	9,5	0,0154	0,0167	2,12 2,94
0,02 0,1 0,25 0,4 0,6	200	219	580	140	72	30	2,5	50 49	0,0078	0,0016 0,008	5,45
420			100	54	20	14 15						0,010 0,0095	0,0095 0,0149
								3,5	9	0,0178	0,0214	2,62 3,54
0,02 0,1 0,25 0,4 0,6	250	273	620	140	72	30	2,5	44 43	0,0086	0,0018 0,0089	5,9
480			100	54	20	14						0,0111 0,0152	0,0118 0,0183
								3 4	9	0,0259	0,0262

Продолжение табл. 26.1

$P_{\text{уп}}$ МН/м ²	$D_{\text{у}}$	$d_{\text{н}}$	D	l	l_1	R	ε	Δ_d	Силы		Масса полу- ляжы. кг	
									$P_{\text{л}}$	$P_{\text{р}}$		
									МН			
0,02	300	325	670	140	72	30	2,5	42	0,0094	0,002	6,6	
0,1								41				
0,25			550	100	54	20	3	16	0,0117	0,015		4,7
0,4								14				
0,6								9				
0,02	350	377	750	140	72	30	2,5	49	0,0098	0,0025	7,95	
0,1								39				
0,25			620	100	54	20	3,5	16	0,0176	0,0184		5,65
0,4								14				
0,6								8,5				
0,02	400	426	830	140	72	30	2,5	57	0,010	0,0031	9,45	
0,1								46				
0,25			670	100	54	20	3,5	16	0,019	0,021		6,1
0,4								14				
0,6								8,5				
0,02	450	478	880	140	72	30	2,5	55	0,0106	0,0033	10,2	
0,1								45				
0,25			720	100	54	20	3,5	16	0,0204	0,0227		6,6
0,4								13,5				
0,6								8				
0,02	500	529	930	140	72	30	2,5	54	0,0112	0,0035	10,9	
0,1								44				
0,25			770	100	54	20	3,5	15	0,0221	0,0241		7,32
0,4								13				
0,6								8				
0,02	600	630	1030	140	72	30	2,5	52	0,0125	0,004	12,4	
0,1								42				
0,25			870	100	54	20	3,5	14	0,0249	0,0284		8,4
0,4								12,5				
0,6								8					0,0629	0,0642	13,9

Продолжение табл. 1

P_{y1} Мн/м ²	D_y	d_k	D	l	l_1	R	s	Δ_2	Силы		Масс. пору- лизы кг				
									P_k	P_p					
												Мн			
0,02 0,1 0,25 0,4 0,6	700	720	1120	160	82	35	2,5	51	0,0136	0,0045	13,9				
			960	100	54	20		41	0,0196	0,0225	16,9				
								14	0,0276	0,0319	9,4				
								12	0,0355	0,0499	11,0				
7,5	0,0697	0,072	15,6												
0,02 0,1 0,25	800	820	1220	160	82	35	2,5	51	0,0148	0,005	15,6				
			1060	100	54	20		3	41	0,0212	0,0253	18,7			
0,02 0,1 0,25	900	920	1320	160	82	35	3	13,5	0,0303	0,0366	10,6				
			1160	100	54	20						42	0,0229	0,0056	20,5
												41	0,0312	0,028	23,9
3	12,5	0,0333	0,040	11,8											
0,02 0,1 0,25	1000	1020	1420	180	92	40	3	41	0,0247	0,0061	22,9				
			1260	100	54	20						3,5	40	0,0335	0,0307	26,6
0,02 0,1	1200	1220	1620	180	92	40	3	12,5	0,0363	0,0439	12,7				
												3,5	40	0,0282	0,0072	26,6
0,02	1400	1420	1820	180	92	40	3	3,5	40	0,0382	0,0359	31,0			
													39	0,0317	0,0082	30,4
	1500	1520	1920	200	102	45	3	38	0,0335	0,0087	33,0				
												38	0,0352	0,0094	35,0
	1600	1620	2020	240	122	55	3	37	0,0386	0,0102	38,8				
												36	0,0421	0,0113	44,5
	1800	1820	2220	240	122	55	3	34	0,0456	0,0128	48,4				
												34	0,0456	0,0128	48,4
2000	2020	2420	240	122	55	3	32	0,0491	0,0134	52,5					
											32	0,0491	0,0134	52,5	
2200	2220	2620	240	122	55	3	32	0,0491	0,0134	52,5					
											32	0,0491	0,0134	52,5	
2400	2420	2820	240	122	55	3	32	0,0491	0,0134	52,5					
											32	0,0491	0,0134	52,5	

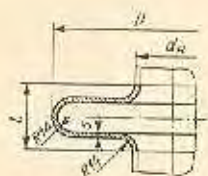
Примечания:

1. Материал линзы — листовая сталь марки 10.
2. Δ_2 — полная компенсирующая способность одной линзы при температуре среды $t_c \leq 100^\circ \text{C}$. При более высокой температуре эта величина должна быть уменьшена: при $t_c \leq 200^\circ \text{C}$ — на 5%; при $t_c > 200$ до 300°C — на 10%; при $t_c > 300$ до 450°C — на 15%.
3. Полная компенсирующая способность Δ_2 дана при условии предварительной деформации линзы в направлении, обратном деформации ее в рабочем состоянии. При отсутствии или уменьшении предварительной деформации линзы полная компенсирующая способность ее соответственно уменьшается.
4. P_k — сила упругости компенсатора, не зависящая от количества линз, соответствующая односторонней деформации линзы; P_p — сила распора линзы от внутреннего давления на вес.

Таблица 26.2

Линзы для стальных компенсаторов на $p_D = 0,6 \div 1,6 \text{ Мн/м}^2$
(по ОН 26-01-79-88)

Условное обозначение линзы $D_D = 800 \text{ мм}$, $p_D = 1,6 \text{ Мн/м}^2$ из углеродистой стали (условное обозначение У) для приварки встык: «Линза 800—1,6У, ОН 26-01-79—68»
то же для высоколегированной стали (условное обозначение К) для приварки внахлестку (условное обозначение Б): «Линза 800—1,6КБ ОН 26-01-79—68»



p_D , Мн/м ²	D_D	d_K	D	l	s	Δ_s	Силы		Масса линзы, кг	
							P_K	P_D		
							Мн			
0,6 1,0 1,6	150	159	309	71	2,5	10	0,0157	0,013	2,72	
72				3	8	0,0206	0,025	3,28		
74				4	6	0,036	0,0368	4,38		
0,6 1,0 1,6	200	219	369	71	2,5	10	0,018	0,0171	3,46	
72				3	8	0,0243	0,0284	4,15		
74				4	6	0,0417	0,0452	5,55		
0,6 1,0 1,6	250	273	423	71	2,5	10	0,0197	0,0204	4,09	
72				3	8	0,0275	0,0338	4,93		
74				4	6	0,0471	0,054	6,59		
0,6 1,0 1,6	300	325	475	71	2,5	10	0,0223	0,0235	4,72	
72				3	8	0,0309	0,0397	5,68		
74				4	6	0,053	0,0638	7,58		
0,6 1,0 1,6	400	426	576	71	2,5	10	0,0274	0,031	5,91	
72				3	8	0,0375	0,0515	7,15		
74				4	6	0,0648	0,082	9,57		
0,6 1,0 1,6		405	555	556	71	2,5	10	0,0274	0,031	5,49
72					3	8	0,0375	0,0515	6,86	
74					4	6	0,0648	0,082	9,21	
0,6 1,0 1,6	500	505	655	71	2,5	10	0,0314	0,0373	6,88	
72				3	8	0,0437	0,0633	8,3		
74				4	6	0,0756	0,101	11,2		
0,6 1,0 1,6	600	605	755	71	2,5	10	0,0363	0,0448	8,07	
72				3	8	0,0498	0,0747	9,75		
74				4	6	0,0878	0,119	13,1		

Продолжение табл. 26.2

$R_{\text{н}}$ Мн/мм ²	$D_{\text{в}}$	$d_{\text{н}}$	D	t	α	Δ_d	Силы		Масса линзы, кг
							$F_{\text{к}}$	$F_{\text{р}}$	
0,6	800	805	955	71	2,5	10	0,0454	0,0588	10,5
1,0			958	72						4	6	0,1099	0,0979
1,6				74	6	0,157	17,0		
0,6	1000	1005	1155	71	2,5	10	0,0548	0,121	13,0
1,0			1158	72						4	6	0,1324	0,123
1,6				74	6	0,194	20,8		
0,6	1200	1216	1366	72	3	8	0,0863	0,0866	18,6
1,0				74	4					6	0,155	0,144
1,6					74	4	0,231	24,9	
0,6	1400	1416	1566	72	3	8	0,0981	0,101	21,4
1,0				74	4					6	0,178	0,167
1,6					74	4	0,269	28,8	
0,6	1600	1620	1770	72	3	8	0,109	0,114	23,8
	1800	1820	1970				0,123	0,128	27,3
	2000	2020	2170				0,135	0,143	30,2
	2200	2224	2374				0,150	0,158	33,1

Примечания:

1. Материал линз — углеродистая сталь марки ВМ Ст.Зсп, высоколегированная — марок Х17Н13М2Т, Х17Н10Т, 0Х18Н10Т и др.
2. Δ_d — полная компенсирующая способность одной линзы (при условии предварительной деформации линзы в направлении, обратном и равном допустимой деформации ее в рабочем состоянии) при температурах: для углеродистой стали до 200° С, для высоколегированной стали до 400° С. При более высокой температуре величина Δ_d для линз из углеродистой стали должна быть уменьшена: при $t_c > 200$ до 300° С на 10%; при $t_c > 300$ до 350° С на 30%.
3. Компенсирующая способность линз указана для общего количества циклов не более 300 за период эксплуатации. Компенсирующая способность линз в зависимости от количества циклов следующая:

Количество цикл	Для углеродистой стали			Для высоколегированной стали		
	толщина стенки линзы α , мм					
	2,5	3,0	4,0	2,5	3,0	4,0
	Δ_d					
300	±5,0	±4,0	±3,0	±5,0	±4,0	±3,0
500	±4,0	±3,5	±2,5	±4,0	±3,8	
1000	±3,8	±3,0	±2,2	±3,5	±3,5	
2000	±2,8	±2,5	±2,0	±3,0	±3,0	
5000	±2,3	±2,2	±1,6	±2,5	±2,5	
						±2,6 ±2,0

4. Коррозионный и другие виды износа для линз при $\alpha \leq 3$ мм допускаются не более 0,5 мм, а при $\alpha = 4$ мм — не более 0,7 мм.
5. Значения t и масса приведены для линз, привариваемых встык (к обечайке, трубе или устанавливаемых между линзами). В случае приварки линз внахлестку на диаметре $d_{\text{н}}$ предусматривается цилиндрический участок длиной 12 мм и масса линзы соответственно увеличивается: на 3,5% (при одностороннем увеличении) и на 7% (при двустороннем увеличении).
6. Предпочтительная технология изготовления линз из двух половинок с меридиональным сварным швом встык. Допускается изготавливать линзы из полулинз (а осевом направлении) для компенсаторов из двух, трех и четырех линз. В этом случае на диаметре D каждой из полулинз предусматриваются цилиндрические участки длиной 4—5 мм для кольцевого сварного шва встык.
7. $F_{\text{к}}$ и $F_{\text{р}}$ — соответственно силы упругости компенсатора и от внутреннего давления.

Эффективная площадь — это площадь сальфона, действие давления среды на которую вызывает деформацию сальфона, равную деформации его при действии осевой нагрузки.

Практически определенную эффективную площадь F в м^2 (см^2) (в пределах 2—4% точности) производится по формуле*

$$F = 0,196 (D + d)^2, \quad (26.10)$$

где D — наружный диаметр сальфона в м (см);
 d — внутренний диаметр сальфона в м (см).

В табл. 26.3 и 26.4 приведены основные данные о стальных однослойных сальфонах с наружными посадочными размерами, имеющих наибольшее применение в химической аппаратуре.

Соединение сальфонов с деталями в узлах химических аппаратов производится механическим путем (разбор-

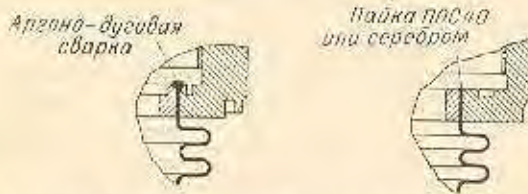


Рис. 26.2 Основные типовые конструкции присоединения сальфонов из стали марки Х18Н10Т к деталям аппарата

ное) — при работе сальфонного узла в условиях высокой температуры, сваркой (короткоимпульсной или аргондуговой) — для стальных сальфонов и пайкой мягкими припоями — для бронзовых и латунных сальфонов. Типовые конструкции присоединения сальфонов показаны на рис. 26.2.

При применении сальфонов следует иметь в виду, что, когда давление среды действует на сальфон снаружи — предпочтительно его в рабочих условиях подвергать сжатию, а когда давление среды действует изнутри — растяжению. Этим достигается снижение суммарных напряжений в сальфоне от сжатия или растяжения его и от давления среды.

Расчет линзовых компенсаторов производится следующим образом. Для стальных аппаратов линзовые компенсаторы следует выбирать в зависимости от условного диаметра, условного давления и компенсирующей способности линзы по табл. 26.1 или 26.2.

Величина деформации одной из соединяемых между собой частей аппарата Δ_l в м (см) (например, корпуса и труб в теплообменнике) по отношению к другой в результате теплового расширения определяется по формуле

$$\Delta_l = l \left| \alpha_k^t (t_k - 20) - \alpha_m^t (t_m - 20) \right|, \quad (26.11)$$

где l — длина соединяемых частей в м (см);
значения остальных величин те же, что и в формуле (26.1).

Рассмотрим деформации, возникающие в указанных частях аппарата, от действия различных сил при наличии компенсатора, приближенно считая трубную решетку абсолютно жесткой (что идет в запас расчета):

деформация корпуса от действия реакции компенсатора

$$\Delta_k^c = \frac{P_k l}{E_m^t F_m}; \quad (26.12)$$

* Получена из формулы (3) в [23] путем замены $R_k = \frac{D}{2}$ и $R_c = \frac{d}{2}$.

деформация труб от действия реакции компенсатора

$$\Delta_t^m = \frac{P_k l}{E_m^t F_m}; \quad (26.13)$$

деформация корпуса от действия давления среды в трубном и межтрубном пространствах, а также распора от давления среды в линзах компенсатора

$$\Delta_p^c = \frac{(P + P_p) l}{E_k^t P_k}; \quad (26.14)$$

деформация труб от действия предыдущих сил

$$\Delta_p^m = \frac{(P + P_p) l}{E_m^t F_m}, \quad (26.15)$$

где P_k — реакция компенсатора в Мн (кгс);
 P — сила от давления среды в трубном и межтрубном пространствах определяется по формуле (26.2) в Мн (кгс);

P_p — распор от давления среды в линзах компенсатора в Мн (кгс).

Исходя из уравнения совместности деформаций, величина деформации компенсатора Δ_k определяется по следующим формулам:

при $l_m > l_k$

$$\Delta_k = \Delta_t - \Delta_t^c - \Delta_t^m + \Delta_p^c + \Delta_p^m; \quad (26.16)$$

при $l_m < l_k$

$$\Delta_k = \Delta_t - \Delta_t^c - \Delta_t^m - \Delta_p^c - \Delta_p^m. \quad (26.17)$$

Расчетное количество линз в компенсаторе z' определяется по формуле

$$z' = \frac{\Delta_k}{\Delta_l} \quad (26.18)$$

с округлением этого количества до ближайшего большего целого числа.

При выборе линз компенсатора по табл. 26.1 или 26.2 величины P_k , P_p и Δ_k в формулах (26.12), (26.13) и (26.18) следует брать из указанных таблиц.

В тех случаях, когда по каким-либо соображениям подобрать линзовый компенсатор по этим таблицам не представляется возможным (по параметрам, материалу и др.), последний подлежит разработке.

При этом наружный диаметр линзы рекомендуется принимать в соответствии с табл. 26.1 или 26.2 и по конструктивным соображениям, а расчет компенсатора рекомендуется производить в следующей последовательности.

Номинальная расчетная толщина стенки линзы s' в м (см) определяется по формуле*

$$s' = 0,895 K D_k \sqrt{\frac{P_k}{\sigma_{ид}}}. \quad (26.19)$$

Реакция компенсатора P_k в Мн (кгс) определяется по формуле**

$$P_k = 4,9 \frac{\sigma_{ид} s^2}{1 - \beta}. \quad (26.20)$$

Распор от давления среды в линзах P_p в Мн (кгс) определяется по формуле***

$$P_p = 0,8 K_1 p_m D_o^2. \quad (26.21)$$

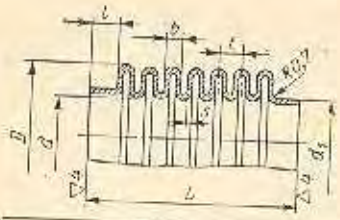
* Получена из формулы (4.30) в [75] путем замены $p_{проб}$ на p_m и $\frac{\sigma_r}{K}$ на $1,25 \sigma_{ид}$.

** Получена из формулы (4.35) в [75] путем замены $\frac{\sigma_r}{K}$ на $1,25 \sigma_{ид}$.

*** Получена из формулы (4.39) в [75] при $K' = 1,25$.

Сифоны стальные однослойные с наружными посадочными поверхностями
(по МН 428—64)

Условное обозначение сифона $D = 78$ мм, $z = 10$ и $s = 0,24$ мм: «Сифон 78×10×0,24 МН 428—64»



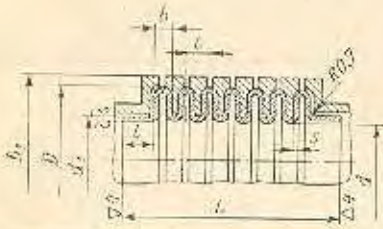
D	d	z	t	b	d ₁	s	l	L	Максимальный ход	Жесткость		F, 10 ⁻⁴ м ²	Максимальное ρ, Мп/м ²		
										наибольшая	наименьшая				
										10 ⁻⁵ Мп/мм					
29	20	24 42	3,8	2,4	22	0,22 0,16	5	80 172	24,1 43,0	4,5 2,5	1,5 0,5	4,71	1,25 0,85		
34	24	12	3,0	1,9	24,5	0,2		50	9,7	2,0	1,0			6,59	1,0
72	55,5	4	4,5	3,0	56	0,15	6	28,5	3,6	2,8		32,0	0,3		
78	59,5	8	5,5	4,0	60	0,16		7	58,5	8,4	3,6			1,5	37,2	0,32
		10				0,24	67,5		10,8	1,2	0,4				
		12				0,24	78,5		10,2	2,9	1,2				
92	75,5	11	6,0	5,2	76	0,22	7	78	10,0	2,0	0,8	60,0	0,45		
		6	0,16			56		8,2	1,4	0,5					
		8				70		11,5	1,1	0,35					
		9	0,14			78,3		13,4	0,7	0,2	0,22				
		13	0,22					13,1	0,93	0,31				0,24	
			0,16					13,4	1,8	0,8					0,32
		0,22	107			19,7		0,8	0,22	0,24					
		0,24				20,2		1,2	0,55		0,32				
9	13	5,8	4,5	0,14	9	19,7	1,5	0,6	0,4						
13				0,16		65	8,3	0,6		0,17					
82	7	5,0	2,5	85,5	0,2	9	50,5	11,8	0,55	0,15	0,22	0,24			
126	95,5	11	8,6	6,0	96	0,3	12	116	13,0	1,4	0,6	65,0	0,3		
145	115,5	13	8,2	6,1	116	0,28	7	118	12,6	—	—	96,7	0,7		
157	126,5	12	8,5		127	0,3	12	123	13,2			132,8	0,32		
	125,5	10	11,4	6,8	0,8	10		129	20,7			158,3	0,28		
165	137	11	8,6	5,0	138		0,5	10	111			18,0	—	—	0,7
						180,2									0,4
190	149	12	9,3	6,0	150	0,3	16	141	20,3			—	—	227,0	0,28
		15	8,9					163						8,7	
208	169	7	9,0	6,1	170	0,5	12	84	8,7			—	—	278,5	0,4
240	198	9	20	12,2	200	1,0	29	281	31,2	—	—			380	0,5
322	282	13	9,0	5,8	283	0,5	12	138	19,2			—	—	716	0,25
	281,4					0,8				0,4					

Примечания:
1. Материал — сталь марок X18H10T и 0X18H10T.
2. z — количество волн, F — эффективная расчетная площадь.

Таблица 26.1

Сильфоны стальные однослойные с наружными посадочными поверхностями, армированные кольцами
(по МН 430—64)

Условное обозначение сильфона $D = 27$ мм, $z = 6$ и $z = 0,22$ мм с кольцами из стали марки X18H10T: «Сильфон СН 27×6×0,22 МН 430—64»



D	D_1	d	z	t	b	d_1	s	l	L	Максимальный ход	$F, 10^{-4} \text{ М}^2$	Максимальное $\rho, \text{ Мн/м}^2$			
мм			мм												
27	30	17,5	6	3,6	2,8	18	0,22	5	30,5	1,6	3,88	7,5			
			10	3,7									0,18	31,0	1,8
			12											45,8	3,2
			16											53,2	4,0
			18											68,0	5,4
			21											75,5	6,1
24	86,5	7,2													
97,5	8,3														
38	42	25,5	5	4,3	3,0	26	0,22	7	34,2	2,8	7,94	6,0			
			8						47,0	3,6					
			15						77,2	7,3					
45	50	33,5	24	3,7	2,8	34	0,18	5	97,5	8,3	12,0	3,5			
52	55	37,5	4	5,8	4,5	38	0,26	7	35,0	1,7	15,8	4,0			
			5						40,8	2,2					
			10				0,22		69,8	5,0		2,0			
			12						81,5	6,2					
63	66	47,5	5	4,5	3,6	48	0,25	7	34,5	1,4	24,0	4,5			
			6						39,0	1,8					
			10						57,0	3,2					
			15						79,5	5,0					
			4						30,0	1,1					
73	76	59,5	7	5,85	3,5	60	0,28	8	32,0	1,2	34,2	4,0			
			17						45,5	2,4					
			16		90,5				6,4						
			4,3		107				9,3						
92	95	75,5	4	5,85	4,6	76	0,28	9	39,0	1,5	54,7	3,0			
			5						45,0	2,0					
			6						50,5	2,5					
			12						85,8	5,5					

D	D_1	d	z	t	b	d_1	z	t	L	Максимальный ход	F , 10^{-4} м ²	Максимальное P , Мн/м ²
120	125	100	10	6,6	5,1	—	0,5	17	97,5	5,4	94,2	2,0
145	148	115	5 13	11,0	7,5							
160	163	129	14	10,0								
174	178	150	11	8,6									7,0
							0,28	10	71,0 159	5,5 16,8	132	0,8
									156	13,0	163	0,7
							0,5	16	123	6,4	206	1,8

Примечания:
1. Материал сильфона — сталь марок X18H10T и 0X18H10T, армирующего кольца: сталь марки X18H10T, алюминиевый сплав марки Д16Т, титановый сплав марок ВТ1-1 и ОТ4.
2. z — количество волн, P — эффективная расчетная площадь.

В формулах (26.19)–(26.21)

$$\beta = \frac{D_0}{D};$$

D_0 — внутренний диаметр линзы в м (см);
 D — наружный диаметр линзы в м (см);
 s — принятая толщина стенки линзы в м (см);
 $\sigma_{уд}$ — допускаемое напряжение на изгиб для материала линзы в Мн/м² (кгс/см²);
 P_m — расчетное давление в межтрубном пространстве в Мн/м² (кгс/см²);

$$K = \sqrt{\frac{(1-\beta)(1-\beta^2)}{8\beta^2(3+\beta)}} \text{ — берется по графику рис. 26.3;}$$

$$K_1 = \frac{\pi(1-\beta)(1+2\beta)}{12\beta^2} \text{ — берется по графику рис. 26.3.}$$

Деформация одной линзы Δ_s в м (см) определяется по формуле [75]

$$\Delta_s = 0,075 K_2 \frac{\sigma_{уд} D_0^2}{E_s^t s}, \quad (26.22)$$

$$\text{где } K_2 = \frac{6,9}{1-\beta} \left(\frac{1-\beta^2}{\beta^2} - \frac{4 \ln^2 \beta}{1-\beta^2} \right) \text{ — берется по графику рис. 26.3.}$$

Пример 26.2. Определить необходимость применения компенсатора и основные размеры последнего для данных по примеру 26.1, если $t_k = 50^\circ \text{C}$; $\sigma_{TK}^{50} = 250 \text{ Мн/м}^2$ (2500 кгс/см²); $E_k^{50} = 2 \cdot 10^5 \text{ Мн/м}^2$ ($2 \cdot 10^9 \text{ кгс/см}^2$); остальное по примеру 26.1.

Из примера 26.1 имеем: $D_0 = 0,5 \text{ м}$; $l = 3 \text{ м}$; $\alpha_k^t \approx \alpha_m^t = 0,11 \cdot 10^{-4} \text{ } 1/^\circ\text{C}$; $\sigma_d^k = \sigma_{уд}^k = 150 \text{ Мн/м}^2$ (1500 кгс/см²); $\sigma_d^m = 140 \text{ Мн/м}^2$ (1400 кгс/см²); $F_k = 79 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$; $F_m = 270 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$; $l_m = 250^\circ \text{C}$; $P = 0,425 \text{ Мн}$ (42 500 кгс); $E_m^t = 1,76 \cdot 10^5 \text{ Мн/м}^2$ ($1,76 \times 10^9 \text{ кгс/см}^2$).

Определим необходимость применения компенсатора.

Силу взаимодействия между корпусом и трубами (при жестком соединении их друг с другом) за счет температурных напряжений определяем по формуле (26.1)

$$P_t = \frac{\alpha_k^t |(t_k - 20) - (t_m - 20)|}{\frac{1}{E_k^t F_k} + \frac{1}{E_m^t F_m}} = \frac{0,11 \cdot 10^{-4} |(50 - 20) - (250 - 20)|}{\frac{1}{2 \cdot 10^9 \cdot 79 \cdot 10^{-4}} + \frac{1}{1,76 \cdot 10^9 \cdot 270 \cdot 10^{-4}}} = 2,61 \text{ Мн (261 000 кгс)}.$$

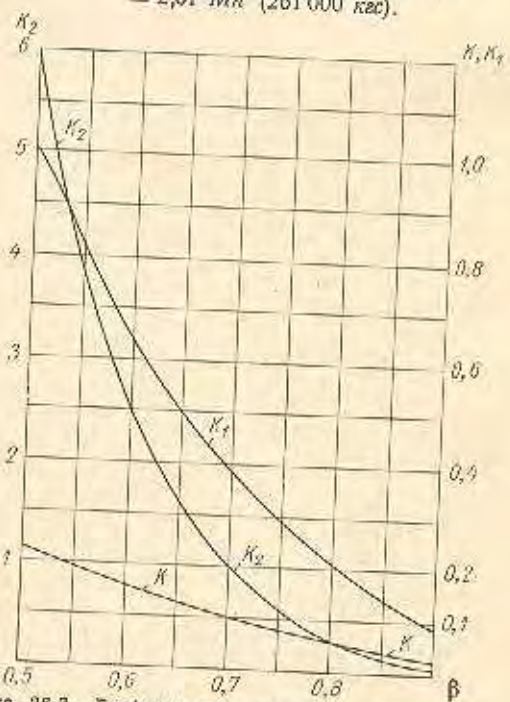


Рис. 26.3. График для определения коэффициентов K , K_1 и K_2 в формулах (26.19), (26.21) и (26.22)

Суммарное напряжение на растяжение в корпусе определяем по формуле (26.6)

$$\begin{aligned} \sigma^x &= \frac{P^t}{F_K} + \frac{PE_K^t}{E_K^t F_K + E_m^t F_m} = \\ &= \frac{2,61}{79 \cdot 10^{-4}} + \frac{0,425 \cdot 2 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^6 \cdot 79 \cdot 10^{-4} + 1,76 \cdot 10^6 \cdot 270 \cdot 10^{-4}} = \\ &= 330 + 13,4 = 343,4 \text{ Мн/м}^2 \text{ (3434 кс/см}^2\text{)} > \sigma_0^x = \\ &= 150 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1500 кс/см}^2\text{)}, \end{aligned}$$

т. е. условие (26.6) не обеспечено.

Поскольку хотя бы одно из трех условий (26.6), (26.7) и (26.8) не обеспечено, дальнейшую проверку остальных двух условий проводить не требуется, следовательно, в теплообменнике необходимо установить компенсатор.

Величину деформации труб по отношению к корпусу в результате их теплового расширения определяем по формуле (26.11)

$$\begin{aligned} \Delta_t &= l \left| \alpha_K^t (t_K - 20) - \alpha_m^t (t_m - 20) \right| = \\ &= 3 \left| 0,11 \cdot 10^{-4} (50 - 20) - 0,11 \cdot 10^{-4} (250 - 20) \right| = \\ &= 6,6 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 6,6 \text{ мм}. \end{aligned}$$

По табл. 26.2 для $D_s = 0,5$ м и $p = 1,6$ Мн/м² находим: $D = 658$ мм; $s = 4$ мм; $\Delta_s = 6$ мм (с предварительной деформацией линзы) или $\Delta_s/2 = 3$ мм (без предварительной деформации); $P_K = 0,0756$ Мн (7560 кс); $P_p = 0,101$ Мн (10100 кс).

Деформацию корпуса от действия реакции компенсатора определяем по формуле (26.12)

$$\begin{aligned} \Delta_t^x &= \frac{P_K l}{E_K^t F_K} = \frac{0,0756 \cdot 3}{2 \cdot 10^6 \cdot 79 \cdot 10^{-4}} = \\ &= 0,143 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,143 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Деформацию труб от действия реакции компенсатора определяем по формуле (26.13)

$$\begin{aligned} \Delta_t^m &= \frac{P_K l}{E_m^t F_m} = \frac{0,0756 \cdot 3}{1,76 \cdot 10^6 \cdot 270 \cdot 10^{-4}} = \\ &= 0,0479 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,0479 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Деформацию корпуса от действия сил $P + P_p$ определяем по формуле (26.14)

$$\begin{aligned} \Delta_p^x &= \frac{(P + P_p) l}{E_K^t F_K} = \frac{(0,425 + 0,101) \cdot 3}{2 \cdot 10^6 \cdot 79 \cdot 10^{-4}} = \\ &= 1 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 1 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Деформацию труб от действия сил $P + P_p$ определяем по формуле (26.15)

$$\begin{aligned} \Delta_p^m &= \frac{(P + P_p) l}{E_m^t F_m} = \frac{(0,425 + 0,101) \cdot 3}{1,76 \cdot 10^6 \cdot 270 \cdot 10^{-4}} = \\ &= 0,332 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,332 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Деформацию компенсатора определяем по формуле (26.16)

$$\begin{aligned} \Delta_K &= \Delta_t - \Delta_t^x - \Delta_t^m + \Delta_p^x + \Delta_p^m = \\ &= 6,6 - 0,143 - 0,0479 + 1,0 + 0,332 = 7,741 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Расчетное количество линз в компенсаторе определяем по формуле (26.18)

$$z' = \frac{\Delta_K}{\Delta_s} = \frac{7,741}{6} = 1,29 - \text{с предварительной деформацией линзы};$$

$$z'' = \frac{2\Delta_K}{\Delta_s} = \frac{2 \cdot 7,741}{6} = 2,58 - \text{без предварительной деформации линзы}.$$

Таким образом, с предварительной деформацией линзы необходимое количество линз $z = 2$, а без предварительной деформации — $z = 3$.

Определим расчетом основные характеристики и размеры рассматриваемого компенсатора.

Предварительно находим по графикам рис. 26.2 значения коэффициентов K , K_1 и K_2 : для $\beta = \frac{D_s}{D} = \frac{0,5}{0,65} = 0,77$ $K = 0,072$, $K_1 = 0,26$ и $K_2 = 0,46$.

Номинальную расчетную толщину стенки линзы определяем по формуле (26.19)

$$\begin{aligned} s' &= 0,895 K D_s \sqrt{\frac{P_K}{\sigma_{из}}} = \\ &= 0,895 \cdot 0,072 \cdot 0,5 \sqrt{\frac{1,6}{150}} = 3,32 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 3,32 \text{ мм}. \end{aligned}$$

С учетом прибавок на коррозию и округление размера принимаем $s = 4$ мм.

Реакцию компенсатора определяем по формуле (26.20)

$$\begin{aligned} P_K &= 4,9 \frac{\sigma_{из} s^2}{1 - \beta} = 4,9 \frac{150 \cdot 0,004^2}{1 - 0,77} = \\ &= 0,0511 \text{ Мн (5110 кс)}. \end{aligned}$$

Распор от давления среды в линзах определяем по формуле (26.21)

$$\begin{aligned} P_p &= 0,8 K_1 P_m D_s^2 = 0,8 \cdot 0,26 \cdot 1,6 \cdot 0,5^2 = \\ &= 0,083 \text{ Мн (8300 кс)}. \end{aligned}$$

Деформацию одной линзы определяем по формуле (26.22)

$$\begin{aligned} \Delta_s &= 0,075 K_2 \frac{\sigma_{из} D_s^2}{E_K^t s} = \\ &= 0,075 \cdot 0,46 \frac{150 \cdot 0,5^2}{2 \cdot 10^6 \cdot 0,004} = 1,62 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 1,62 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Деформацию корпуса от действия реакции компенсатора определяем по формуле (26.12)

$$\begin{aligned} \Delta_t^x &= \frac{P_K l}{E_K^t F_K} = \frac{0,0511 \cdot 3}{2 \cdot 10^6 \cdot 79 \cdot 10^{-4}} = \\ &= 0,097 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,097 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Деформацию труб от действия реакции компенсатора определяем по формуле (26.13)

$$\begin{aligned} \Delta_t^m &= \frac{P_K l}{E_m^t F_m} = \frac{0,0511 \cdot 3}{1,76 \cdot 10^6 \cdot 270 \cdot 10^{-4}} = \\ &= 0,0322 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,0322 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Деформацию корпуса от действия сил $P + P_p$ определяем по формуле (26.14)

$$\begin{aligned} \Delta_p^x &= \frac{(P + P_p) l}{E_K^t F_K} = \frac{(0,425 + 0,083) \cdot 3}{2 \cdot 10^6 \cdot 79 \cdot 10^{-4}} = \\ &= 0,965 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,965 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Деформацию труб от действия сил $P + P_p$ определяем по формуле (26.15)

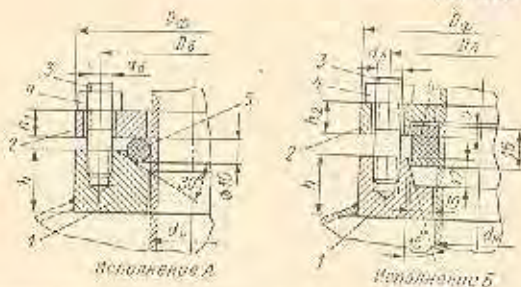
$$\Delta_p^m = \frac{(P + P_p) l}{E^l F_m} = \frac{(0,425 + 0,083) 3}{1,76 \cdot 10^8 \cdot 270 \cdot 10^{-4}} = 0,309 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,309 \text{ мм.}$$

Деформацию компенсатора определяем по формуле (26.16)

$$\Delta_k = \Delta_l - \Delta_l^k - \Delta_l^m + \Delta_p^k + \Delta_p^m = 6,6 - 0,097 - 0,0322 + 0,965 + 0,309 = 7,745 \text{ мм.}$$

Сальники для уплотнения труб в стальных аппаратах, работающих под давлением (по ОН 26-01-40-67, тип I)

Таблица 26.5



Условное обозначение сальника исполнения А с $D_y = 25$ мм из углеродистой стали: «Сальник 1А-25 ОН 26-01-40-67».

Условное обозначение сальника исполнения А с $D_y = 25$ мм из кислотостойкой стали: «Сальник 1АК-25 ОН 26-01-40-67».

D_y	d_k	D_{ϕ}	D_0	D_1	h	h_1	h_2	Шпилька		Исполнение	
								d_{ϕ}	z	А	Б
мм										Масса, кг	
25	32	90	70	55							
32	38	95	75	60						1,58	1,53
40	45	105	85	70	25	10	12	M10	4	1,67	1,70
50	57*	115	95	80						1,96	1,93
65	76*	140	115	100						2,12	2,11
80	89	155	130	110		12				3,55	3,66
100	108	175	150	130	30		16			4,12	4,36
125	133	200	175	155		14		M12		4,84	5,02
150	159	225	200	180		16	18		8	6,25	6,45
200	219	290	265	245	35	18	20			7,15	7,37
										10,2	10,7

Примечания:

1. Материал для аппаратов из углеродистой стали — детали 1 (бобышка), 2 (фланец) и 4 (гайки) — сталь марки Ст.3, 3 (шпильки) — сталь марки Ст.5, 5 (уплотнение) — в зависимости от среды. Материал для аппаратов из кислотостойкой стали — деталь 1 — сталь соответствующей марки, остальные детали — так же, как и в предыдущем случае.

2. Исполнение Б применять при нижнем выводе труб.

* Для труб из кислотостойкой стали d_k на 1 мм меньше.

Расчетное количество линз в компенсаторе определяем по формуле (26.18)

$$z' = \frac{\Delta_k}{\Delta_x} = \frac{7,745}{1,62} = 4,77 \text{ — без предварительной деформации линзы;}$$

$$z' = \frac{\Delta_k}{2\Delta_x} = \frac{7,745}{2 \cdot 1,62} = 2,39 \text{ — с предварительной деформацией линзы.}$$

26.2 САЛЬНИКОВЫЕ КОМПЕНСАТОРЫ

Наряду с линзовыми, сальниковые компенсаторы* пользуются в химической аппаратуре не менее широким распространением, особенно для круглых частей аппаратов с $D \leq 250$ мм.

* Сальниковые компенсаторы для вращающихся валов см. в гл. 32.

По сравнению с листовыми, сальниковые компенсаторы имеют то преимущество, что допускают применение их при давлениях значительно больших.

Вместе с тем, у сальниковых компенсаторов имеется и существенный недостаток — возможность пропуска рабочей среды и связанная с этим необходимость в периодической подтяжке их.

На рис. 26.4 показаны основные типовые конструкции сальниковых компенсаторов с мягкой набивкой, применяемых в химической аппаратуре. Материал набивки выбирается в зависимости от среды и расчетной температуры (см. гл. 8). При высокой температуре среды в аппарате предусматривается охлаждение набивки сальника водой, протекающей по специальной рубашке в корпусе сальника.

В табл. 26.5 и 26.6 приведены основные данные о нормализованных сальниках для уплотнения труб в стальных аппаратах. Аналогичные конструкции могут применяться и в аппаратах из цветных металлов и сплавов при тех же параметрах.

Для компенсации температурного изменения длины трубопроводов из углеродистой стали, работающих при $p_y \leq 1,6 \text{ Мн/м}^2$ и $t_c \leq 300^\circ \text{C}$, имеются сальниковые

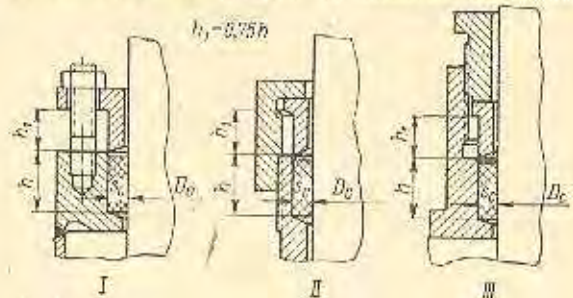
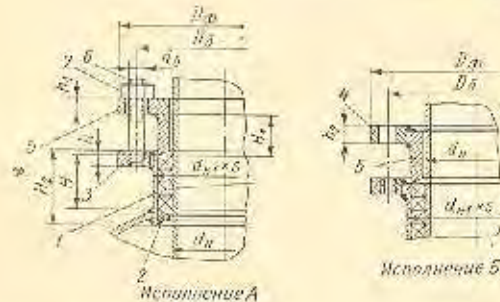


Рис. 26.4. Основные типовые конструкции сальниковых компенсаторов с мягкой набивкой, применяемых в химической аппаратуре: I — при $D_c \geq 25 \text{ мм}$; II и III — при $D_c < 25 \text{ мм}$

Сальники для уплотнения труб в стальных аппаратах, работающих под давлением $p_y \leq 1,6 \text{ Мн/м}^2$ (по ОН 26-01-40-67, тип II)

Таблица 26.6



Условное обозначение сальника исполнения А с $D_y = 25 \text{ мм}$ из углеродистой стали: «Сальник ПА—25 ОН 26-01-40-67».
Условное обозначение сальника исполнения А с $D_y = 25 \text{ мм}$ из кислотостойкой стали: «Сальник ПАК—25 ОН 26-01-40-67».

p_y , Мн/м ²	D_y	d_n	$d_{нл} \times s$	D_ϕ	D_δ	h	h_1	h_2	H	H_1	H_2	s^{**}	Шпильки		Исполнение				
													d_δ	z	А	Б			
мм															Масса, кг				
1,6	20	25	45×2,5	105	75	12	12	8	50	30	65	8	4	M12	2		1,74	1,74	
	25	32	57×3,5	110	85												10	2,18	2,18
	32	38	78×4	120	95												16	2,78	2,78
	40	45		130	105												13	2,97	2,97
	50	57*	89×4	140	115													3,34	3,34
	65	76*	108×4	160	135													3,6	3,6
	80	89	133×4	190	165												16	8,35	8,35
0,6	100	108	159×4,5	220	190	18	16	10	65	40	90	19	8			12,3	13,1		
	125	133	194×4,5	265	230											22	16,9	17,8	
	150	159	219×4,5	280	250											25	18,6	19,6	
	200	219	273×5,5	335	305											22	22,3	22,3	

Примечания:

1. Материал для аппаратов из углеродистой стали — детали 1 (патрубок) — сталь марки 20, 2 (кольцо), 3 и 4 (фланцы), 5 (штулка в исполнении Б) и 7 (гайки) — сталь марки Ст.3,5 (штулка в исполнении А) — чугун марки СЧ 15—32, 6 (шпильки) — сталь марки Ст.5,8 (набивка) — в зависимости от среды.

Материал для аппаратов из кислотостойкой стали — детали 1 и 2 — сталь соответствующей марки, остальные детали — такой же материал, как и в предыдущем случае.

2. Для $D_y \geq 25 \text{ мм}$ — деталь 1 (патрубок) изготавливается сварным из листа.

* Для труб из кислотостойкой стали d_n на 1 мм меньше.

** Толщина (диаметр или сторона квадрата) поперечного сечения набивки.

компенсаторы на $D_p = 100 \div 1000$ мм по МН 2593—61—МН 2599—61.

Мягкие набивки из разных неметаллических материалов в сальниковых компенсаторах применяются в виде шнура или колец соответствующего профиля, а также в виде стандартных манжет из кожи, резины, пластика и других материалов.

Расчет сальниковых компенсаторов производится следующим образом. Расчетом определяются: толщина и сила прижатия набивки сальника, основные размеры деталей и элементов сальника.

Расчетная толщина мягкой сальниковой набивки s'_c в мм (см. рис. 26.4) определяется по формуле [108]

$$s'_c = 1,4 \sqrt{D_c} \quad (26.23)$$

Значение s'_c округляется до целого числа в мм s_c и принимается не менее 3 и не более 25 мм.

Высоту набивки h рекомендуется принимать по табл. 26.7 в зависимости от давления среды. Расчетная сила прижатия набивки сальника в Mn (кгс) P'_c приближенно определяется по формуле

$$P'_c = \pi (D_c + s_c) s_c q, \quad (26.24)$$

где q — удельная нагрузка нажимной втулки сальника на набивку берется по табл. 26.8 в Mn/m^2 (kg/cm^2).

Таблица 26.7

Рекомендуемая высота мягкой набивки h в сальниковых компенсаторах (см. рис. 26.4)

$p, Mn/m^2$	$\leq 0,6$	$> 0,6$ до 1,6	$> 1,6$ до 2,5	$> 2,5$
$h, мм$	$3 s_c$	$4 s_c$	$5 s_c$	$6 s_c$

Таблица 26.8
Удельная нагрузка нажимной втулки сальника на мягкую набивку q в формуле (26.24)

$p, Mn/m^2$	$\leq 0,6$	1,0	1,6	2,5	4,0	6,4	10	> 10
$q, Mn/m^2$	1,8	2,5	3,0	5,0	7,5	10,0	12,5	$1,25p$

По расчетной силе прижатия P'_c производится расчет на прочность основных элементов сальникового компенсатора: шпильки, резьбы, фланца, нажимной втулки и др. по соответствующим формулам, приведенным в гл. 21 и 22.

Пример 26.3. Определить основные размеры сальникового компенсатора с мягкой набивкой типа I (рис. 26.3) и расчетную силу прижатия набивки при установке сальника между корпусом теплообменника и его верхней трубной решеткой к примеру 26.2 (вместо листового компенсатора).

Из примера 26.2 имеем: $D_c = D_s = 0,5$ м; $p_m = 1,6$ Mn/m^2 (16 kg/cm^2).

Расчетную толщину набивки сальника определяем по формуле (26.23)

$$s'_c = 1,4 \sqrt{D_c} = 1,4 \sqrt{500} = 31,1 \text{ мм.}$$

Принимаем $s_c = 25$ мм (максимальный рекомендуемый размер).

Высоту набивки определяем по табл. 26.7

$$h = 4 s_c = 4 \cdot 25 = 100 \text{ мм.}$$

Высоту нажимной втулки определяем согласно рис. 26.4

$$h_1 = 0,75 h = 0,75 \cdot 100 = 75 \text{ мм.}$$

Удельную нагрузку нажимной втулки на набивку определяем по табл. 26.8 $q = 3$ Mn/m^2 (30 kg/cm^2).

Расчетную силу прижатия набивки определяем по формуле (26.24)

$$P'_c = \pi (D_c + s_c) s_c q = \pi (0,5 + 0,025) 0,025 \cdot 3 = 0,124 \text{ Mn (12 400 кгс).}$$

ШТУЦЕРА, ВВОДЫ И ВЫВОДЫ ТРУБ

Присоединение труб к химическим аппаратам бывает разъемное и неразъемное. Первое осуществляется в основном с помощью фланцев или на резьбе, второе — на сварке или пайке.

Кроме труб к аппаратам часто присоединяется всевозможная арматура (вентили, задвижки, краны, клапаны и т. д.), а также различные измерительные приборы (термометры, манометры, уровнемеры и т. д.).

В большинстве случаев трубы и особенно арматура и измерительные приборы имеют разъемное присоединение к аппаратам, что обуславливается главным образом удобством (при необходимости) их осмотра, ремонта и замены.

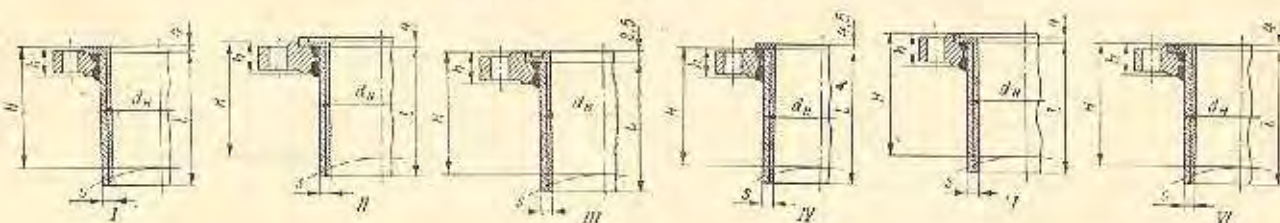
Для разъемного присоединения труб, арматуры и измерительных приборов на аппарате обычно предусматриваются штуцера (патрубки) фланцевые или резьбовые. В ряде случаев для этой цели вместо штуцеров применяются соответствующие бобышки (фланцевые или резьбовые), см. в гл. 21.

Наибольшим распространением пользуются фланцевые штуцера для присоединения труб, арматура и приборов с $D_H > 10$ мм, а резьбовые штуцера — с $D_H \leq \leq 32$ мм.

В табл. 27.1—27.4 приведены основные данные о нормализованных штуцерах* для аппаратов из двухслойной стали, стальных с эмалевым покрытием, медных.

Таблица 27.1

Штуцера из двухслойной стали с приварными фланцами и наплавленной уплотнительной поверхностью на $p_H \leq 6,4$ Мн/м² (по МН 4579—63—МН 4584—63)



Условное обозначение штуцера $D_H = 100$ мм типа I на $p_H = 1,0$ Мн/м² из материала А: «Штуцер 10—100—А МН 4579—63»

D_H	d_H	$p, \text{ Мн/м}^2$								
		$\leq 2,5$			$\leq 1,0$			$\leq 1,0$		
		H			I			3		
100	121	150	150	150	190	230	260	8	10	10
125	146	180	180	180	230	260	290			
150	168			200			290	320	10	12
200	219	250	240	370						
250	273	310	270	440	16					
300	325	200	200	290		18				
350	377			350	320		480			
400	426	220	220	330	20					
450	480			300		340	500			
500	530	—	—	—	22					

П р и м е ч а н и я:

- Штуцера предназначены для аппаратуры, работающей с агрессивными средами при температуре до 475° С.
- Штуцера типов: I — по МН 4579—63, II — по МН 4580—63, III — по МН 4581—63, IV — по МН 4582—63, V — по МН 4583—63 и VI — по МН 4584—63.
- Материал патрубков:

А — Ст.3 + ЭИ 496 по ЧМТУ 3258—52 (дополнение 1);	}	по ЧМТУ 211—59;
Б — Ст.3 + Х18Н10Т		
В — 20К + Х17Н13М2Т	}	по ЦННЦМ
Г — 20К + ЭИ 496 по ЧМТУ 3258—52;		
Д — 18ГТ + ЭИ 496 по ЧМТУ 3258—52 (дополнение 2);	}	по ЧМТУ 211—59 (дополнение 1).
Е — 18ГТ + Х18Н10Т		
- Данные о фланцах и массу штуцеров см. в табл. 27.2.

* Нормаль на штуцера для стальных аппаратов находится в стадии разработки.

Таблица 27.2

Фланцы к штуцерам из двухслойной стали на $P_0 \leq 6,4 \text{ МПа/М}^2$ (в табл. 27.1)

$D_{шт}$ мм	0,35		0,6		1,0		1,5		2,5		4,0		6,4	
	II		I		II		I		II		I		II	
	б, мм	Масса, кг	б, мм	Масса, кг	б, мм	Масса, кг	б, мм	Масса, кг	б, мм	Масса, кг	б, мм	Масса, кг	б, мм	Масса, кг
100	17	6,72	7,47	16	22	24	23	25	27	28	27	28	27	28
125	19	9,23	10,3	18	25	28	26	28	30	30	27	30	27	30
150	21	10,8	12,0	21	26	28	25	26	30	30	27	30	27	30
200	23	16,8	18,8	23	24	28	27	28	33	34	31	32	30	32
250	25	23,5	23,7	25	24	28	27	28	35	34	31	32	30	32
300	28	31,6	32,3	28	26	30	27	28	37	35	31	32	30	32
350	31	42,2	43,1	31	26	30	27	28	40	38	34	35	32	34
400	34	47,5	48,7	34	26	30	27	28	44	40	36	37	34	36
450	37	53,7	55,3	37	26	30	27	28	48	44	39	40	37	39
500	40	61,2	62,9	40	26	30	27	28	52	48	43	44	40	42
550	43	69,7	71,4	43	26	30	27	28	56	52	47	48	44	46
600	46	78,3	79,9	46	26	30	27	28	60	56	51	52	48	50

Примечания:

1. Масса указана для штуцеров (суммарная для патрубков и фланцев) только для типов I и II. Для остальных приближительной массы штуцеров, других типов массе соответствующего штуцера типа II следует брать с коэффициентом: для типов III к I — 0,98; для типов IV и V — 1,015.

2. Приближительные размеры фланцев см. в табл. 21.5.

3. Материал фланцев — сталь марок: ВСт3, 20К и 16ГГ по ГОСТ 157—58.

При конструировании аппаратов штуцера следуют принимать нормализованные. В случаях отсутствия их на штуцера, последние принимают по конструктивному соображениям. При этом рекомендуется: в изолируемых аппаратах вылет штуцеров принимать из расчета чтобы фланцевое или резьбовое соединение штуцера было бы за пределами изоляции аппарата с целью доступа к этим соединениям для осмотра и подтяжки; в неизолируемых аппаратах вылет штуцеров принимать из расчета заводки болтов или шпилек со стороны аппарата (во фланцевых штуцерах), что часто диктуется удобством сборки. Данное условие не является обязательным, поскольку во многих случаях заводить болты возможно и в сторону аппарата, что позволяет уменьшать величину вылета штуцеров.

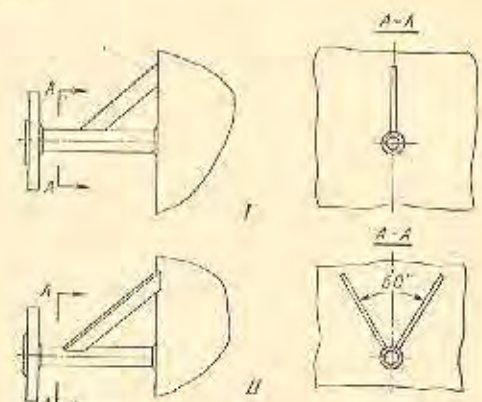


Рис. 27.1. Конструкция присоединения малых штуцеров к стенкам сварных и паяных аппаратов

Во всех случаях рекомендуется вылеты штуцеров в аппаратах из любых материалов делать возможно меньшими, за исключением тех случаев, когда это не идет вразрез с конструктивными особенностями того или иного аппарата или спецификой его монтажа.

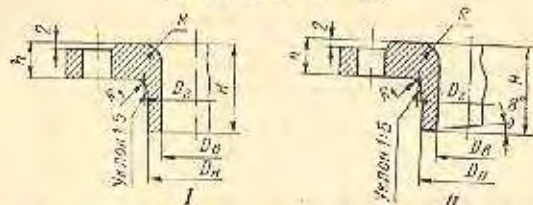
В отдельных случаях, когда к аппарату на незначительном расстоянии, хотя и превышающем рекомендуемый вылет, требуется присоединить другой аппарат, арматуру и т. п. с целью исключения лишних фланцевых или резьбовых соединений, целесообразно предусматривать удлиненные штуцера, а иногда и фасонные штуцера с заворотами, колесами и т. п.

Присоединение к аппарату на сварке или пайке штуцеров с $D_{шт} \leq 15$ мм рекомендуется укреплять одной или двумя планками согласно рис. 27.1.

В тех случаях, когда к аппарату неразъемно присоединяются трубы (на сварке или пайке), а иногда и какая-либо арматура или измерительные приборы, указанные детали или изделия рекомендуется присоединять непосредственно к стенке аппарата, а к соответствующему патрубку, который так же, как и фланцевый или резьбовой штуцер, в свою очередь, приваривается или припаявается к стенке аппарата. Вылет таких патрубков определяется теми же соображениями, что и выше, в частности, условиями доступа для осмотра, обслуживания, ремонта и, в случае необходимости, — замены (путем отрезки их в месте шва присоединяемых деталей или изделий с патрубком). Наличие патрубка между стенкой аппарата и указанными деталями или изделиями обусловливается также и удобством монтажа, особенно в тех случаях, когда присоединение к аппарату габаритных труб и других изделий требуется осуществлять на монтажной площадке,

Таблица 27.3

Штуцера для стальных аппаратов с эмалевым покрытием
(по ОН 26-01-34-66)



Условное обозначение штуцера $D_g = 25$ мм
на $p_y = 1,0 + 16$ Мн/м² исполнения I:
«Штуцер I-1, 6-25 ОН 26-01-34-66»

p_y , Мн/м ²	D_g	$D_в$	$D_н$	$D_с$	H	h	R	R_1	Исполнение	
									I	II
									Масса, кг	
									мм	
<0,6 1,0-1,6	25	35	37 40	42 47	35 40	14	6		0,79 1,15	0,78 1,13
<0,6 1,0-1,6	32	31	41 47	50 55	45 50	16	4		1,16 1,80	1,14 1,78
<0,6 1,0-1,6	40	38	52 56	58 64	50 56	16	8		1,40 2,16	1,37 2,11
<0,6 1,0-1,6	50	49	64 69	70 76	45 50	14 16	5		1,60 2,02	1,58 2,55
<0,6 1,0-1,6	65	66	83 88	88 94	45 50	14 18	4		2,47 3,58	2,38 3,46
<0,6 1,0-1,6	80	78	95 102	102 108	55	16 20	10	5	3,18 4,63	3,08 4,44
<0,6 1,0-1,6	100	96	114 122	122 128	65	16 20	12	5	3,85 5,64	3,66 5,33
<0,6 1,0-1,6	125	131	140 149	148 156	65	18 22	6	4	5,42 8,30	5,12 7,88
<0,6 1,0-1,6	150	146	166 176	174 182	65	18 22	12	5 6	6,40 10,8	5,95 10,0
<0,6 1,0-1,6	200	202	221 234	234 240	60	20 24	12	5	10,2 15,0	9,25 13,6
<0,6 1,0-1,6	225	226	249 260	250 266	85	20 24	6	6	12,1 18,1	11,0 16,3
<0,6	250 300	254 303	278 320	268 340	90 95	22	14	14	14,9 20,2	13,4 17,8

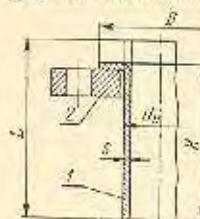
Примечания:

1. Материал штуцера — сталь марок 08 и 10.
2. Размеры фланцев, а также диаметры болтов и их количество см. в табл. 21.9.
3. Область применения по температуре от минус 20 до плюс 300° С.

* К применению не рекомендуется. Присоединительные размеры по ГОСТу 1235-67.

Таблица 27.4

Штуцера для медных аппаратов на $p_y = 0,8$ Мн/м²
(по данным ВНИИМама)



D_g	d_n	D	ε	H	E	Детали	
						1	2
						Масса, кг	
20	26	50		85 110	95 120	0,18 0,23	0,50
25	32	60	3	90 120	101 131	0,24 0,32	0,60
32	38	70		90 120	104 134	0,30 0,39	0,89
40	45	80		135 148	135 148	0,55 0,60	1,02
50	55	90	3,5	120 140	133 153	0,67 0,77	1,15
65	75	110		120 170	133 183	0,93 1,29	1,62
80	85	128	4	125 175	144 194	1,30 1,76	2,17
100	110	148		125 200	141 216	2,07 3,17	2,39
125	135			130 225	149 244	2,70 4,43	3,26
150	160	202	5	135 235	158 258	3,42 5,58	3,78
200	210	258		150 235	171 256	4,89 7,33	5,59
250	260	312		175 275	198 298	7,05 10,6	7,74
300	310	365		175 280	200 305	8,52 13,0	12,4
350	358	415	4	235	269	10,6	15,2

Примечания:

1. Материал патрубков (деталь 1) — медь марки МЗР, фланцев (деталь 2) — сталь марки ВМСт.Зсп.
2. Размеры фланцев см. в табл. 21.19.
3. Область применения штуцера по температуре от минус 196 до плюс 250° С.

а не на заводе-изготовителе. В этих условиях присоединение к патрубку проще, чем к стенке аппарата, а качество шва легко контролируется.

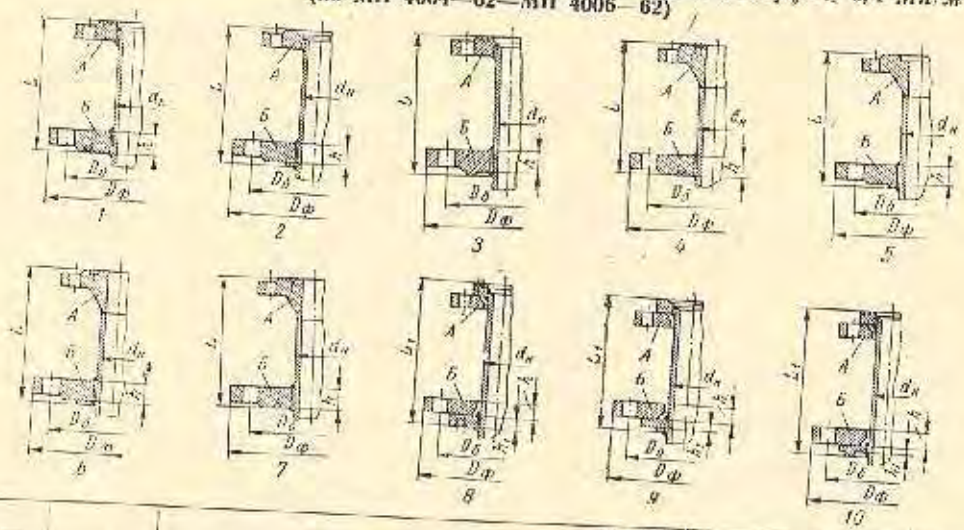
Наряду со штуцерами в аппаратах часто применяются вводы и выходы труб. Они также могут быть разъемные и неразъемные. Неразъемные по существу не отличаются от соответствующих штуцеров. Разъемные же вводы и выходы представляют собой большей частью обычный фланцевый штуцер, в который вставляется труба, присоединяемая к указанному штуцеру с помощью фланца или гильзы, приваренных или припаянных к трубе.

В табл. 27.5—27.10 приведены основные данные о нормализованных разъемных вводах и выводах труб в стальных и медных сварных и паяных аппаратах.

При конструировании аппаратов следует применять нормализованные вводы и выходы труб. В тех случаях, когда отсутствуют нормы на них, по материалу, параметрам и т. п., последние подлежат разработке с учетом приведенных выше рекомендаций, а также конструктивных решений, заложенных в соответствующих нормализованных узлах.

Фланцевые вводы и выходы труб в стальных сварных аппаратах на $P_D \leq 6,4 \text{ Мн/м}^2$ (по МН 4004—62—МН 4006—62)

Таблица 27.5



Фланец		d_n	$P_D, \text{ Мн/м}^2$									
A	B		L					L_1				
D_n			<0,6	1,0	1,6	2,5	4,0	6,4	<0,6	1,0	1,6	2,5
			мм					мм				
10	20	14	80	90	90	90	120	130	130	140	150	150
15	25	18										
20	40	25										
25	50	32										
32	60	38										
40	65	45	120	120	140	140	150	150	170	170	190	
50	80	57										
65	80	76										
80	100	89										
100	125	108										
150	200	159	110	120	130	150	160	180	150	190	220	
200	250	219										
					130	150	180	210	170	210	220	250

Примечание:
 1. Вводы и выходы 1—3 — по МН 4004—62, 4—7 — по МН 4005—62, 8—10 — по МН 4006—62.
 2. Вводы и выходы 1—3 и 8—10 для $P_D \leq 2,5 \text{ Мн/м}^2$, 4 для $P_D = 4 \text{ Мн/м}^2$, 5 и 6 для $P_D = 4$ и $6,4 \text{ Мн/м}^2$, 7 для $P_D = 6,4 \text{ Мн/м}^2$.
 3. Вводы и выходы 1—7 для аппаратов из углеродистой стали, 8—10 для аппаратов из коррозионностойкой стали.
 4. Для вводов и выводов применяются бесшовные трубы и аппаратах из углеродистой стали — трубы марок 10, 20 и 10Г2, в аппаратах из коррозионностойкой стали — трубы марок, соответствующих маркам корпусов аппаратов.
 5. Размеры, материал и массу фланца А см. в табл. 21, В. Размеры, материал и массу фланца В см. в табл. 27.6 и 27.7.

а не на заводе-изготовителе. В этих условиях присоединение к патрубку проще, чем к стенке аппарата, а качество шва легко контролируется.

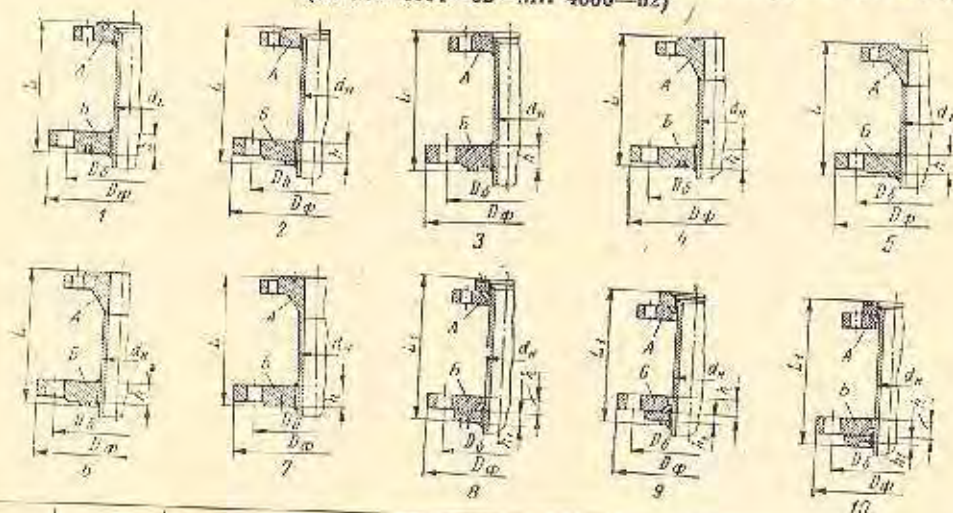
Наряду со штуцерами в аппаратах часто применяются вводы и выходы труб. Они также могут быть разъемные и неразъемные. Неразъемные по существу не отличаются от соответствующих штуцеров. Разъемные же вводы и выходы представляют собой большей частью обычный фланцевый штуцер, в который вставляется труба, присоединяемая к указанному штуцеру с помощью фланца или гильзы, приваренных или припаянных к трубе.

В табл. 27.5—27.10 приведены основные данные о нормализованных разъемных вводах и выходах труб в стальных и медных сварных и паяных аппаратах.

При конструировании аппаратов следует применять нормализованные вводы и выходы труб. В тех случаях, когда отсутствуют нормы на них, по материалу, параметрам и т. п., последние подлежат разработке с учетом приведенных выше рекомендаций, а также конструктивных решений, заложенных в соответствующих нормализованных узлах.

Таблица 27.5

Фланцевые вводы и выходы труб в стальных сварных аппаратах на $p_D \leq 6,4 \text{ Мн/м}^2$
(по МН 4004—62—МН 4006—62)



Фланец		d_n	$p_D, \text{ Мн/м}^2$										
A	B		$\leq 0,6$	1,0	1,6	2,5	4,0	6,4	$\leq 0,6$	1,0	1,6	2,5	
$D_{\text{ф}}$			L				L ₁						
			мм										
10	20	14				90	90	120	130				
15	25	18											150
20	40	25											
25		32	80	90					130		140	150	170
32	50	38							150				
40		45				120	120	140					
50	65	57								170	170	190	
65	80	76							180	150			
80	100	89										190	220
100	125	108											
150	200	169	110	120		130	150	180	210		210		
200	250	219						200	240	170		220	250

Примечания:

1. Вводы и выходы 1—3 — по МН 4004—62, 4—7 — по МН 4005—62, 8—10 — по МН 4006—62.
2. Вводы и выходы 1—4 и 3—10 для $p_D \leq 2,5 \text{ Мн/м}^2$, 4 для $p_D = 4 \text{ Мн/м}^2$, 5 и 6 для $p_D = 4$ и $6,4 \text{ Мн/м}^2$, 7 для $p_D = 6,4 \text{ Мн/м}^2$.
3. Вводы и выходы 1—7 для аппаратов из углеродистой стали, 8—10 для аппаратов из коррозионностойкой стали.
4. Для вводов и выходов для аппаратов из углеродистой стали — трубы марок 10, 20 и 10Г2, в аппаратах из коррозионностойкой стали — трубы марок, соответствующих маркам корпусов аппаратов.
5. Размеры, материал и массу фланцев А см. в табл. 21, 9. Размеры, материал и массу фланцев Б см. в табл. 27.6 и 27.7.

Фланцы приварные для вводов и выводов труб в сварных аппаратах из углеродистой стали на $p \leq 6,4 \text{ МПа}$ (по МН 4004-62, МН 4006-62)

$D_{\text{вн}}^{\text{н}}$ мм	$p, \text{ МПа}$										Тип IV											
	Тип I					Тип II																
	$\leq 0,6$	1,0	1,6	2,5	$\leq 0,6$	1,0	1,6	2,5	4,0	6,3												
10	14	16	18	20	22	0,573	0,767	0,948	1,04	0,603	0,838	0,96	1,08	0,952	1,07	0,592	0,813	0,938	1,06	0,913	1,01	1,79
15	14	18	16	22	27	0,703	0,952	1,25	1,25	0,801	1,03	1,32	1,32	0,716	0,973	1,29	1,29	1,29	1,29	1,11	2,14	2,91
20						1,34	1,87	2,18	2,79	1,03	1,39	2,04	2,00	0,839	1,31	2,20	2,20	2,20	2,20	1,85	3,98	3,61
25	13	20	22	18	24	1,31	1,82	2,13	2,74	1,30	1,84	2,19	2,52	1,34	1,86	2,17	2,78	1,90	2,32	3,53	3,53	
32						1,53	2,29	2,83	3,98	1,63	2,39	3,26	3,26	1,38	2,31	3,41	3,05	3,05	3,05	4,49	4,65	
40	16	22	24	20	30	1,47	2,33	2,73	3,90	1,55	2,31	3,29	2,83	1,52	2,38	3,45	3,45	3,45	2,73	5,96	4,56	
50						1,92	3,16	3,83	5,50	2,04	3,15	3,95	3,85	1,48	3,22	3,90	3,65	3,18	5,14	6,02	6,02	
65	18	24	25	21	30	2,72	3,61	4,43	6,41	2,87	3,51	4,37	4,32	1,47	2,79	3,68	4,14	4,51	3,90	6,76	6,67	
80						3,21	4,20	5,40	6,65	3,48	4,76	5,73	6,97	1,46	3,18	4,65	5,36	5,80	5,35	10,0	10,3	
100	20	28	30	28	36	4,69	6,30	7,52	9,13	5,11	6,80	8,01	10,3	1,49	4,35	6,47	7,71	9,56	8,79	14,9	15,7	
150	22	30	32	32	44	9,13	11,5	14,3	19,0	10,9	14,4	18,4	24,8	1,6	11,8	18,3	22,0	32,0	32,0	36,5	36,5	
200	24	32	34	32	48	12,0	15,0	19,0	24,5	12,8	15,8	21,0	26,9	1,6	12,6	21,3	27,8	32,5	42,5	46,2	46,2	

Примечания:

1. Приведенные данные относятся к фланцам Б (I-7) по табл. 27.5. для соответствующих D_y фланцев А.
2. Присоединительные размеры фланцев А и Б (по табл. 27.5) см. в табл. 21.3.
3. Материал фланцев: для $p \leq 2,5 \text{ МПа}$ — сталь марок Ст.3 или Ст.4; для $p \geq 4,0 \text{ МПа}$ — сталь марки 20.
4. Типы фланцев: I — с гладкой цилиндрической поверхностью; II — с выступом; III — впадином; IV — под прокладку стандартной конструкции.

Фланцы свободные для вводов и выводов труб в стальных сварных аппаратах на $p \leq 2,5 \text{ МПа}$ (по МН 4006-62)

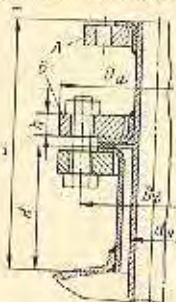
$D_{\text{вн}}^{\text{н}}$ мм	$p, \text{ МПа}$										Крыло талом I' и II'										
	Фланец					Крыло талом I															
	$\leq 0,6$	1,0	1,6	2,5	$\leq 0,6$	1,0	1,6	2,5	3,5	4,0											
10	10	14	16	18	18	0,446	0,858	0,973	1,11	0,143	0,233	0,273	0,312	0,162	0,252	0,302	0,341	0,341	0,341	0,341	0,341
15						0,668	1,04	1,18	1,33	0,20	0,315	0,368	0,421	0,223	0,338	0,405	0,451	0,451	0,451	0,451	
20						1,12	2,09	2,32	2,55	0,353	0,527	0,704	0,73	0,396	0,57	0,751	0,837	0,837	0,837	0,837	
25						1,09	2,04	2,27	2,50	0,322	0,408	0,663	0,746	0,375	0,541	0,71	0,793	0,793	0,793	0,793	
32						1,26	2,51	2,77	3,06	0,492	0,775	0,882	0,931	0,543	0,824	0,94	1,05	1,05	1,05	1,05	
40						1,22	2,46	2,70	2,98	0,449	0,757	0,827	0,93	0,50	0,788	0,885	0,99	0,99	0,99	0,99	
50	20	22	24	20	24	1,81	3,36	3,69	3,83	0,753	1,15	1,29	1,43	0,828	1,21	1,35	1,50	1,50	1,50	1,50	
65						2,28	4,11	4,28	4,64	0,916	1,32	1,47	1,63	0,991	1,39	1,58	1,74	1,74	1,74	1,74	
80						2,98	5,16	5,58	6,89	1,21	1,68	2,10	2,49	1,34	1,82	2,25	2,64	2,64	2,64	2,64	
100						3,42	7,12	7,67	9,65	1,73	2,63	2,92	3,50	1,90	2,80	3,13	3,70	3,70	3,70	3,70	
150	18	20	22	20	24	7,69	13,0	13,4	17,4	4,58	5,74	6,31	7,69	4,85	6,01	6,59	7,97	7,97	7,97	7,97	
200	20	22	24	22	26	10,2	16,3	18,3	28,4	5,57	7,38	8,13	10,3	5,90	7,71	8,47	10,6	10,6	10,6	10,6	

Примечания:

1. Приведенные данные относятся к фланцам Б (8-10) по табл. 27.5 для соответствующих D_y фланцев А.
2. Присоединительные размеры фланцев А и Б (по табл. 27.5) см. в табл. 21.3.
3. Материал фланцев — сталь марок Ст.3 или Ст.5; крыло — перфорированная сталь марок, соответствующих корпусу аппарата.
4. Типы колец фланцев: I — с гладкой цилиндрической поверхностью; II — с выступом; III — с впадином.

Таблица 27.8

Фланцевые входы и выходы труб в медных сварных и паяных аппаратах на $p_D = 0,6 \text{ МПа/М}^2$ (по данным ВНИИМаша)



D_g	d_n	Фланец Н										Болты	
		L		D_{ϕ}		D_{δ}		D		H		d_{δ} , мм	z
мм														Масса, кг
20	26	210	225	130	100	35	12	0,78	1,10	M12	4		
25	32		230	140	110	42		0,93	1,26				
32	38					48		0,89	1,22				
40	45	215	265	160	130	55	14	1,46	1,88	M16	8		
50	55		275	185	150	65		1,93	2,48				
65	75	225	300	205	170	87	14	2,28	2,84	M20	12		
80	85							2,12	2,68				
100	110	230	325	235	200	122		2,85					
125	135	245	345	260	225	148	16	4,01					
150	160	270	355	315	280	174	18	7,46					
200	210	275	395	370	355	225	20	10,2					
250	260	315	420	435	395	275	24	16,7					

Примечания:
 1. Область применения по температуре — от минус 40 до плюс 250° С.
 2. Материал: патрубков, труб и бортишек — медь марки МЗР, фланцев — сталь марки ВМСт.Зсп.
 3. Размеры Н, а также отбортовку патрубков и труб см. в табл. 27.4.
 4. Бортишки см. в табл. 27.9.
 5. Размеры фланцев А и В см. в табл. 31.19.

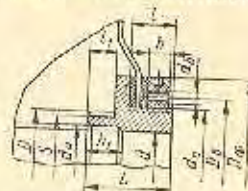
* I — квадратный фланец, II — круглый фланец.

Продолжение табл. 27.9

D_n	D	d	H	z	Масса, кг
мм					
25	60	39	18	3,0	0,08
	90				0,12
32	70	45	20	3,5	0,90
	90				0,14
40	80	52	22	4,0	0,13
	110				0,19
50	90	62	25	4,5	0,16
	128				0,25
65	110	83	30	5,0	0,26
	148				0,39
80	128	93	35	5,5	0,33
	148				0,41
100	178	118	40	6,0	0,57
	202				0,66
150	258	168	45	6,5	1,07
	312				1,56
200	312	218	50	7,0	2,22
	365				2,22

Примечания:
 1. Область применения шайб по температуре от минус 196 до плюс 250° С.
 2. Материал — медь марки МЗР.
 3. Допускаемые отклонения размеров: D и II ± 1 мм, d + 0,5 мм.

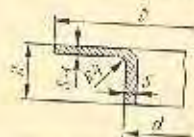
Таблица 27.10
 Выводы медных труб через гильзы на $p_D \leq 0,6 \text{ МПа/М}^2$ (по данным ВНИИМаша)



D_g	d	d_b	D_{δ}	D_{ϕ}	D	S	d_k	L	I	L_1	h	b_2	d_{ϕ}	z	Масса, кг
мм															
20	30	M48x2	65	90	42	36	27	53	28	18	16	M10	1,37		
25	35	M56x2	75	100	48	42	33	57	28	18	16	M10	1,86		
32	42	M72x2	90	120	58	46	39	61	20	18	18	M10	2,69		
40	40	M80x2	100	130	64	56	46	67	30	22	18	M12	3,12		
50	50	M90x2	110	140	75	65	56	67	30	22	18	M12	3,84		
65	70	M110x2	130	160	105	90	76	76	30	22	22	M12	6,02		

Примечания:
 1. Область применения выводов по температуре от минус 40 до плюс 250° С.
 2. Материал: гильзы — латунь или бронза, фланца — сталь марки Ст.3, прокладок — в латунном исполнении.
 3. Допускаемые отклонения размеров: D и d_n ± 0,5 мм, S (размер под ключ) ± 1,2 мм.

Таблица 27.9
 Бортишки медные на $p_D \leq 0,6 \text{ МПа/М}^2$ (по данным ВНИИМаша)



D_g	D	d	H	z	Масса, кг
мм					
20	50	32	18	2,5	0,05
	80				0,08

УКАЗАТЕЛИ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ

Во многих химических аппаратах, в которых имеются жидкости, в процессе их эксплуатации большей частью требуется постоянно или периодически наблюдать за уровнем жидкости, а в ряде случаев — поддерживать его уровень в определенных пределах. Для этой цели используют указатели уровня и регуляторы уровня.

По принципу действия указатели уровня можно разделить на два основных вида: указатели непосредственного наблюдения уровня и указатели косвенного наблюдения уровня.

К первым относятся указатели уровня со стеклянными трубками или плоскими стеклами (устанавливаемыми в специальных рамках), ко вторым — указатели уровня — рычажные, поплавковые, электроконтактного типа и ряд других.

Во многих случаях наблюдать за уровнем жидкости в аппарате требуется на расстоянии. Для этой цели служат дистанционные указатели уровня с выносом вторичного прибора на шит управления.

28.1. УКАЗАТЕЛИ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО НАБЛЮДЕНИЯ УРОВНЯ

Принцип действия таких указателей основан на заборе одинакового уровня жидкости в сообщающихся сосудах (находящихся под равным давлением), одним из которых является аппарат, а другим — емкость указателя в виде прозрачной стеклянной трубки или камеры, имеющей с одной стороны плоское (гладкое или рифленое) прозрачное стекло.

Такие указатели состоят из двух запорных устройств: верхнего, соединяемого с паровым или газовым пространством аппарата, и нижнего (соединяемого с жидкостным его пространством) и устанавливаемых между ними стеклянной трубки или рамки (одной или нескольких) с плоским стеклом.

В табл. 28.1 и 28.2 приведены основные данные о стандартизованных запорных устройствах и рамках для таких

указателей уровня, а на рис. 28.1—28.5 показаны конструкции этих запорных устройств.

В табл. 28.3 приведены основные данные об указателях уровня с несколькими рамками.

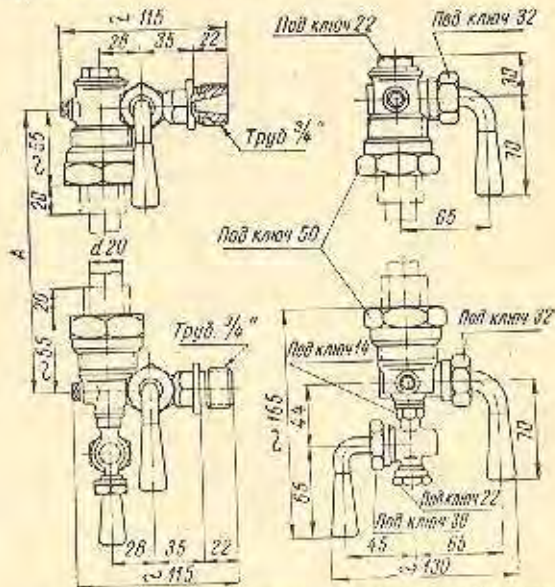


Рис. 28.1. Рычажные, цапковые запорные устройства указателей уровня на $p_D = 1,6 \text{ МПа}$ по ГОСТу 9652—61

При проектировании аппаратов с непосредственным наблюдением уровня жидкости в них следует применять преимущественно стандартизованные указатели уровня.

Таблица 28.1

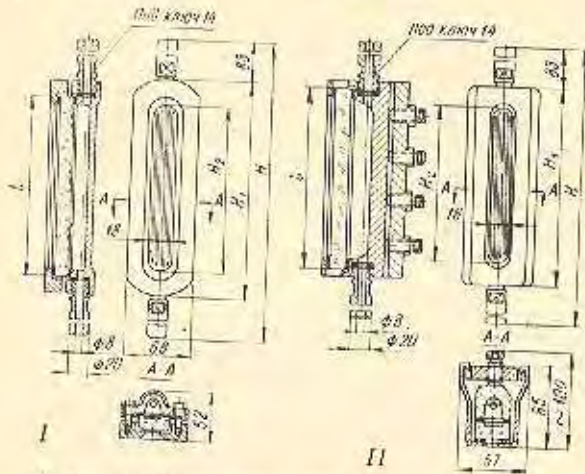
Запорные устройства указателей уровня жидкостей на $p_D \leq 4,0 \text{ МПа}$ (по ГОСТу 9652—68, см. рис. 28.1—28.5)

Тип	Исполнение	Наименование запорного устройства	$p_D, \text{ МПа}$	Типы и номера рамок												Масса, кг	
				I									II				
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
I	А Б	Крановое	1,6	295	320	340	380	410	440	470	510	530	325	405	465	525	2,45 2,87
				310	335	355	395	425	455	485	525	545	340	420	480	540	4,60
II	—	—	2,5	345	370	390	430	460	490	520	560	580	375	455	515	575	3,50 5,25

Примечания:
 1. Запорные устройства предназначены для указателей уровня жидких неагрессивных сред при температуре их: тип I и II — до 225°С, тип III — до 250°С.
 2. Материал корпуса: типов I и II — латунь, типа III — сталь: углеродистая (1), марок 2Х13 (2) и Х18Н9Т (3).
 3. Запорные устройства указателей уровня могут применяться с рамками (см. табл. 28.2) или с круглыми стеклянными трубками наружным диаметром 20 мм по ГОСТу 8446—57.
 4. В случае применения в указателях уровня круглых стеклянных трубок, длины последних должна быть не менее установочного размера А между центрами присоединительных концов запорных устройств: для типа I — на 20 мм, типа II — на 36 мм и типа III — на 70 мм.

Таблица 28.2

Рамки указателей уровня жидкостей
на $p_D \leq 4,0 \text{ МПа/м}^2$
(по ГОСТу 9653-61)



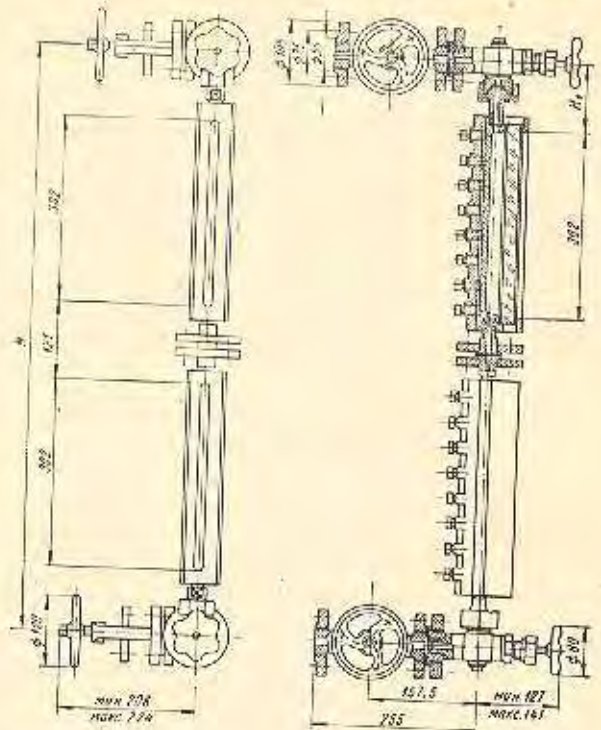
Условное обозначение рамки № 2 на $p_D = 2,5 \text{ МПа/м}^2$:
«Рамка № 2-25 ГОСТ 9653-61»

Тип	Номер	H	H ₁	H ₂	Стекло рифленое Т3 по ГОСТу 1653-57		Общая масса, кг
					l	Номер	
мм							
I	1	275	138	100	115	1	2,0
	2	300	162	124	140	2	2,3
	3	320	182	144	160	3	2,6
	4	360	224	174	190	4	3,2
	5	390	254	204	220	5	3,6
	6	420	284	234	250	6	3,8
	7	450	314	264	280	7	4,3
	8	490	354	304	320	8	4,8
	9	510	374	324	340	9	5,2
II	2	305	168	124	140	2	4,3
	5	385	248	204	220	5	6,1
	7	445	308	264	280	7	7,6
	9	505	368	324	340	9	8,9

Примечания:
1. Рамки предназначены для указателей уровня жидких неагрессивных сред при температуре их до 250° С; тип I - на $p_D = 2,5 \text{ МПа/м}^2$, тип II - на $p_D = 4,0 \text{ МПа/м}^2$. Рабочее давление при температуре 250° С; тип I - 3,1 МПа/м², тип II - 3,5 МПа/м².
2. Материал рамок: тип I - ковкий чугун, тип II - углеродистая сталь.

Таблица 28.3

Указатели уровня жидкости с набором
рамочных элементов на $p_D = 3,0 \text{ МПа/м}^2$ [140]



Условное обозначение	Тип	H	H ₁	Масса, кг
		мм		
12с256к	I	513	105	31,0
	II	936		42,0
	III	1479		59,0
	IV	1902		86,0
	V	2325	165	100
	VI	2748		115
	VII	3171		128
	VIII	3595		143

Примечания:
1. Указатели уровня предназначены для установки их на аппаратах с неагрессивными жидкими средами при температуре до 200° С.
2. Количество рамочных элементов в указателе может быть от одного до восьми. Римская цифра типа указывает на количество рамочных элементов.
Указатели с четырьмя рамочными элементами и более снабжены поддерживающими трубами.

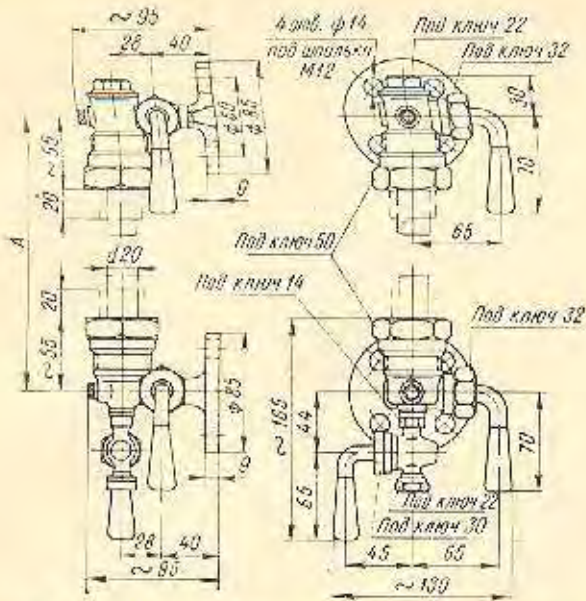


Рис. 28.2. Крановые, фланцевые запорные устройства указателей уровня на $p_H = 1,6 \text{ МПа}$ по ГОСТу 9652-61

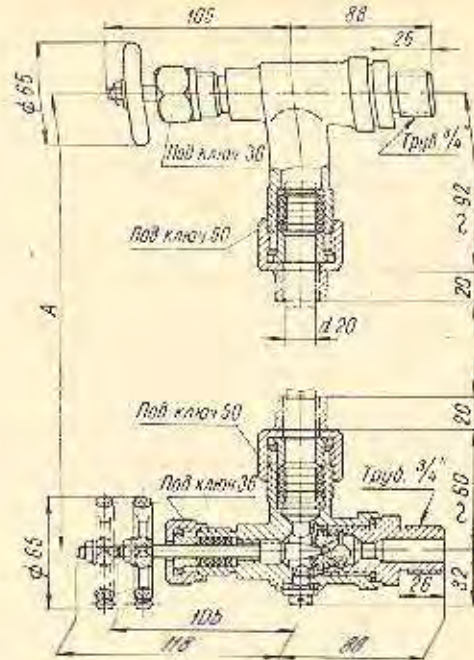


Рис. 28.4. Вентильные, цапковые запорные устройства указателей уровня на $p_H = 4,0 \text{ МПа}$ по ГОСТу 9652-61

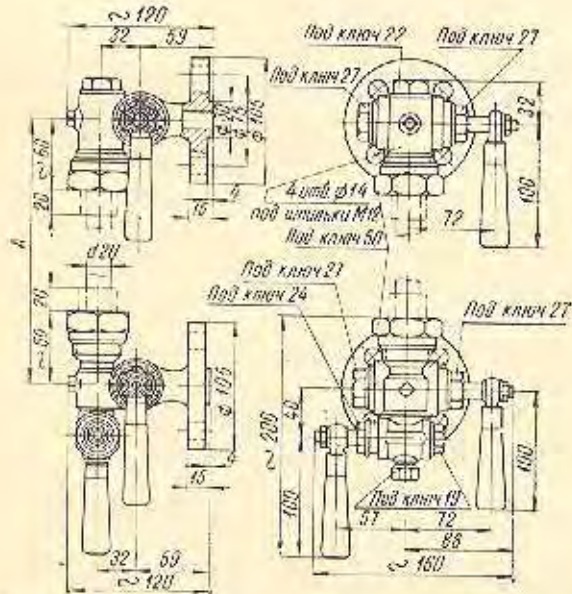


Рис. 28.3. Крановые, фланцевые запорные устройства указателей уровня на $p_H = 2,5 \text{ МПа}$ по ГОСТу 9652-61

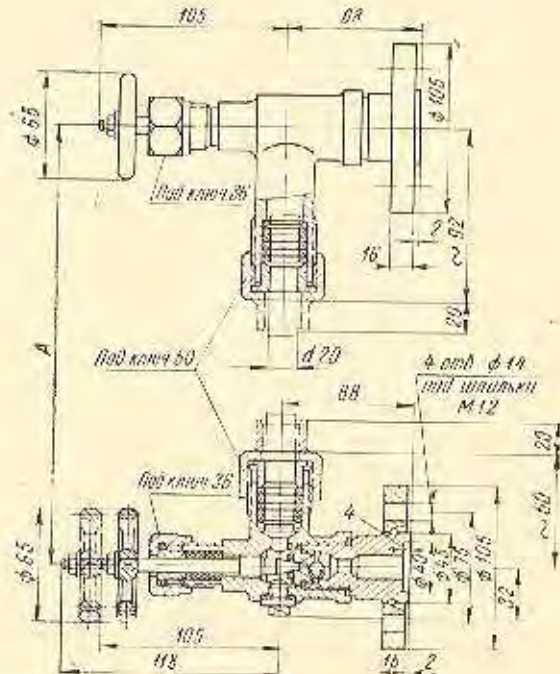


Рис. 28.5. Вентильные, фланцевые запорные устройства указателей уровня на $p_H = 4,0 \text{ МПа}$ по ГОСТу 9652-61

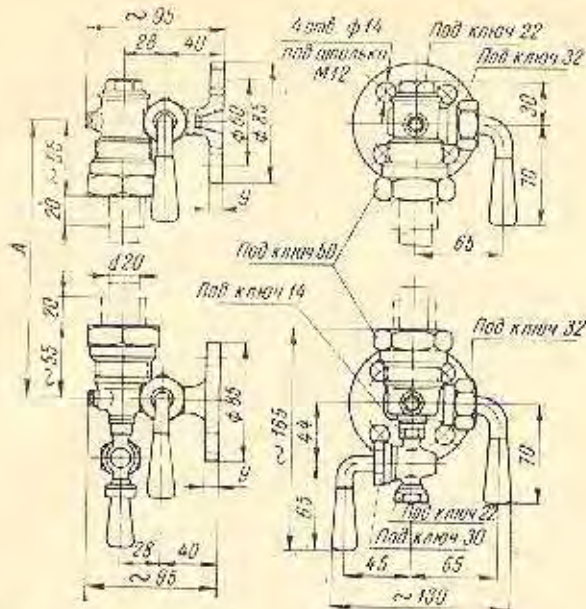


Рис. 28.2. Крановые, фланцевые запорные устройства указателей уровня на $p_H = 1,6 \text{ МПа}$ по ГОСТу 9652-61

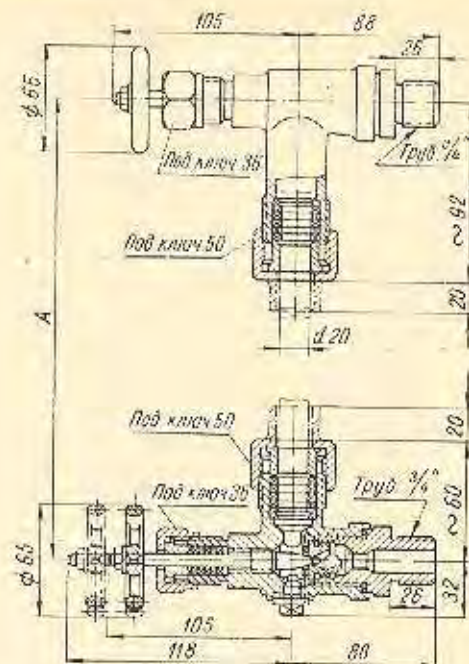


Рис. 28.4. Вентильные, цапковые запорные устройства указателей уровня на $p_H = 4,0 \text{ МПа}$ по ГОСТу 9652-61

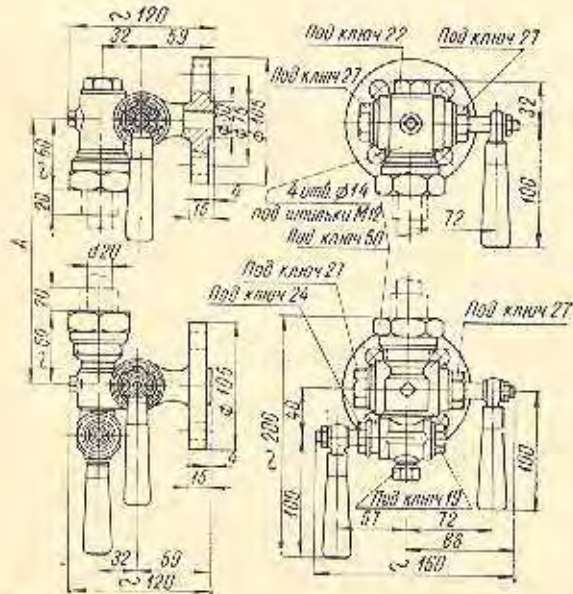


Рис. 28.3. Крановые, фланцевые запорные устройства указателей уровня на $p_H = 2,5 \text{ МПа}$ по ГОСТу 9652-61

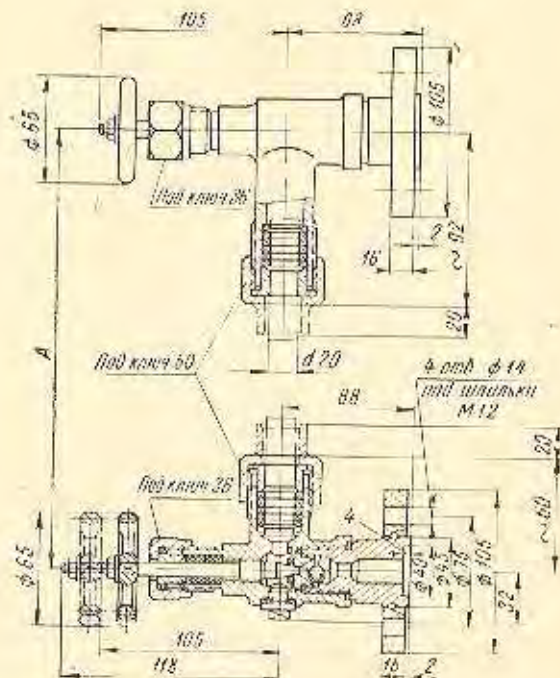


Рис. 28.5. Вентильные, фланцевые запорные устройства указателей уровня на $p_H = 4,0 \text{ МПа}$ по ГОСТу 9652-61

28.2. УКАЗАТЕЛИ КОСВЕННОГО НАБЛЮДЕНИЯ УРОВНЯ

Наиболее распространенными указателями данного вида являются буйковые указатели уровня. Измерение уровня жидкости в них основано на ареометрическом принципе. Измерительным параметром является выталкивающая сила погружаемого в жидкость буйка, величина которой пропорциональна глубине погружения его в жидкость.

Изменение выталкивающей силы буйка вызывает пропорциональное изменение закручивания торсионной трубки, преобразуемое при помощи пневмомеханического устройства в пневматический выходной сигнал.

Буйек подвешен на тросе. Сила тяжести буйка при полном погружении его в жидкость всегда больше выталкивающей силы. Размеры буйка зависят от плотности жидкости и высоты уровня ее.

Буйковые указатели уровня устанавливаются сверху аппарата на вертикальных патрубках. Буйек погружается в жидкость аппарата. Буйковые указатели уровня позволяют передавать показания дистанционно с установкой вторичного прибора на расстоянии до 300 м от аппарата. Конструкция буйковых указателей уровня предусматривает возможность изменения взаимного расположения отдельных частей прибора на зеркальное, а также — наладку прибора на плотность измеряемой жидкости.

На рис. 28.6 показаны габариты буйкового указателя уровня типа ИУВЦ, предназначенного для измерения уровня жидкости в горизонтальных цилиндрических и сферических аппаратах, а в табл. 28.4 — основные данные об этих указателях уровня.

На рис. 28.7 показаны габариты универсального буйкового указателя уровня типа УБ, предназначенного для непрерывного измерения уровня жидкости в различных

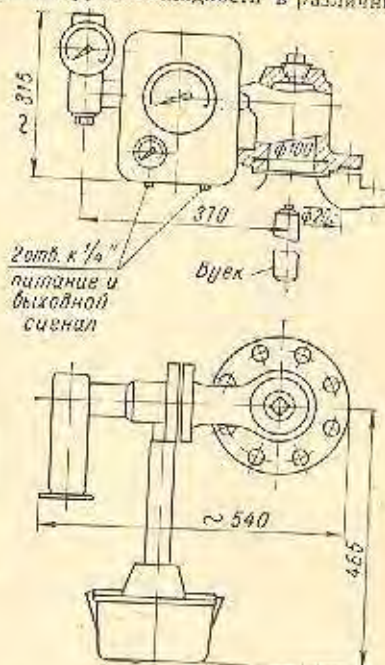


Рис. 28.6. Габариты буйкового указателя уровня типа ИУВЦ на $p_y = 4,0 \text{ МПа}$ по давлению рязанского завода «Темлоприбор». Присоединительные размеры фланцев на соответствующие p_y по табл. 21.9

Указатель (измеритель) уровня жидкости типа ИУВЦ (по данным рязанского завода «Темлоприбор»)

Таблица 28.4

Условное обозначение указателя уровня с пределом измерения уровня 0—400 мм, плотностью измеряемой жидкости в пределах $(0,7 \pm 1,2) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, на $p_y = 4,0 \text{ МПа}$ и $D_y = 100 \text{ мм}$: «Измеритель уровня ИУВЦ—шк 400—1,2—40—100»

Типоразмеры	Пределы измерения уровня, мм	Плотность жидкости, кг/м^3	p_y , МПа	D_y , мм	Типоразмеры	Пределы измерения уровня, мм	Плотность жидкости, кг/м^3	p_y , МПа	D_y , мм
400—0,85—40—100	0—400	500—850	4,0	100	2400—0,85—16—200	0—2400	500—850	1,6	200
400—1,2—40—100		700—1200			2400—1,2—40—100		700—1200		
800—0,85—40—100	0—800	500—850	4,0	100	3000—0,85—40—100	0—3000	500—850	4,0	100
800—1,2—40—100		700—1200			3000—1,2—40—100		700—1200		
1200—0,85—40—100	0—1200	500—850	4,0	100	4000—0,85—40—100	0—4000	500—850	4,0	100
1200—1,2—40—100		700—1200			4000—1,2—40—100		700—1200		
1625—0,85—25—200	0—1625	500—850	2,5	200	6000—0,85—40—100	0—6000	500—850	4,0	100
1625—0,85—40—200		700—1200	4,0	100	6000—1,2—40—100		700—1200		
1625—1,2—40—100	0—1625	500—850	1,6	200	8000—0,85—40—100	0—8000	500—850	4,0	100
1935—0,85—16—200		700—1200	2,5	200	8000—1,2—40—100		700—1200		
1935—0,85—25—200	0—1935	500—850	1,6	200	9000—0,85—40—100	0—9000	500—850	4,0	100
1935—0,85—40—200		700—1200	2,5	200	9000—1,2—40—100		700—1200		
1935—1,2—40—100	0—1935	500—850	4,0	100					
		700—1200							

Примечания:

1. Указатель уровня предназначен для измерения уровня жидкостей — маловязких нефтепродуктов — с содержанием сероводорода $\approx 20\%$, плотностью от 500 до 1200 кг/м^3 и температурой от минус 40 до плюс 200° С при избыточном давлении до 4,0 МПа .
2. Пневмоустройство питается осушенным и очищенным воздухом под избыточным давлением 0,1—0,11 МПа .
3. Габариты указателя уровня см. на рис. 28.6.

Таблица 28.5

Указатель уровня (уровнемер) жидкости типа УБ

(по данным рязанского завода «Темлоприбор»)

Условное обозначение указателя уровня для однородной неагрессивной невязкой среды с температурой ее в пределах от минус 40 до плюс 200° С, на $\rho_{ж} = 4,0 \text{ Мн/м}^2$ с пределом измерения уровня 0—0,4 м: «Уровнемер УБ-11-ОНТ-33-0,4»

Модификация	Материал деталей, соприкасающихся со средой	Условия эксплуатации		
		$t_{с}, ^\circ\text{C}$	$P_{ж}, \text{Мн/м}^2$	Среда
11-ОНТ-33	Сталь углеродистая	От минус 40 до плюс 200° С	4,0	Неагрессивная
11-ОНТ-33Т				
11-ОТ-33				
11-ОТ-33Т	Сталь марки Х18Н9			Агрессивная
11-ОТ-33				
11-ОТ-33Т	Сталь марки 0Х17Н16М3Т			Агрессивная
11-ОТ-33				
11-ОТ-44	Сталь марки Х18Н9	От минус 200 до минус 40° С		Неагрессивная
11-ОТ-44Т				
11-ОНТ-54	Сталь углеродистая		6,4	Неагрессивная
11-ОНТ-54Т				
11-ОТ-54				
11-ОТ-54Т	Сталь марки Х18Н9			Агрессивная
11-ОТ-54				
11-ОТ-54Т	Сталь марки 0Х17Н16М3Т			Агрессивная
11-ОТ-54Т				
12-ОНТ-33	Сталь углеродистая		4,0	Неагрессивная
12-ОНТ-33Т				
12-ОТ-33				
12-ОТ-33Т	Сталь марки Х18Н9			Агрессивная
12-ОТ-33				
12-ОТ-33Т	Сталь марки 0Х17Н16М3Т			Агрессивная
12-ОТ-33Т				
12-ОНТ-34	Сталь углеродистая		6,4	Неагрессивная
12-ОНТ-34Т				
12-ОТ-34				
12-ОТ-34Т	Сталь марки Х18Н9			Агрессивная
12-ОТ-34				
12-ОТ-34Т	Сталь марки 0Х17Н16М3Т			Агрессивная
12-ОТ-34Т				
13-ОНТ-34	Сталь углеродистая		6,4	Неагрессивная
13-ОНТ-34Т				
13-ОТ-34				
13-ОТ-34Т	Сталь марки Х18Н9			Агрессивная
13-ОТ-34				
13-ОТ-34Т	Сталь марки 0Х17Н16М3Т			Агрессивная
13-ОТ-34Т				

Примечания:

1. Указатель уровня предназначен для измерения уровня различных жидкостей плотностью от 500 до 1800 кг/м³ и температурой от минус 200 до плюс 400° С при атмосферном и избыточном давлении до 6,4 Мн/м², а также при вакууме.
2. Указатели уровня выпускаются на диапазон уровня: УБ-11 до 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 6,0; 8,0 и 10 м.
3. Пневмоустройство питается осушенным и очищенным воздухом под избыточным давлением 0,14 Мн/м².
4. Масса приборов: УБ-11-33 40 кг; УБ-11-44 и УБ-11-54 48 кг; УБ-12-33 77 кг; УБ-12-34 100 кг; УБ-13 84 кг (при диапазоне уровня ≤ 0,8 м) и 93 кг (при диапазоне уровня ≥ 0,8 м).
5. В модификации уровнемера буквы обозначают характеристику среды: О — однородная, Н — неагрессивная, Т — вязкая; цифры обозначают параметры среды (первая — температуру, вторая — давление): температура — 3 — от минус 40 до плюс 200° С, 4 — от минус 200 до минус 40° С, 5 — от плюс 100 до плюс 400° С; давление — 3 — до 1,0 Мн/м², 4 — до 6,4 Мн/м².
6. Габариты указателя уровня см. на рис. 28.7.

аппаратах. В табл. 28.5 приведены основные данные об этих указателях уровня, а в табл. 28.6 — размеры буйка в них в зависимости от плотности и высоты уровня жидкости в аппарате.

Особым видом буйковых указателей уровня жидкости является регулятор уровня типа РУКЦ, позволяющий регулировать уровень в заданных пределах. Такие при-

боры устанавливаются сбоку аппарата на высоте, соответствующей регулируемому уровню. На рис. 28.8 показаны габариты такого прибора, а в табл. 28.7 — основные данные о них. При проектировании аппаратов с косвенным и дистанционным наблюдением уровня жидкости в них следует применять преимущественно приведенные выше (серийно изготавливаемые) указатели уровня.

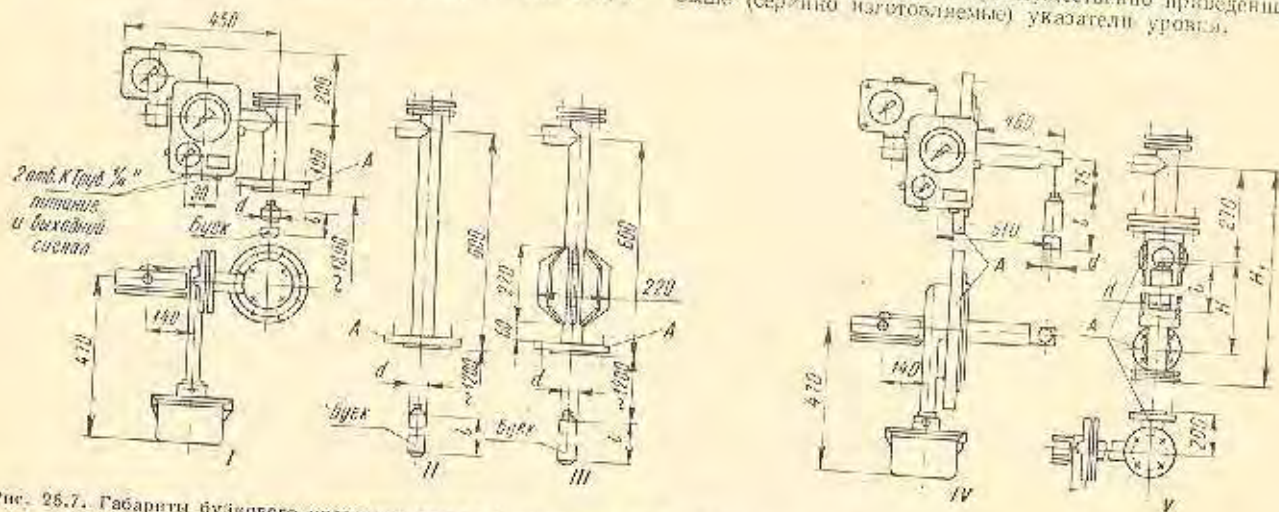


Рис. 28.7. Габариты буйкового указателя уровня (уровнемера) типа УВ на $p_H = 4,0$ и $6,4 \text{ Мн/м}^2$ по данным рязанского завода «Теплоприбор»:
 I — УВ-11 для нормальной температуры; II — УВ-11 для низких температур; III — УВ-11 для высоких температур; IV — УВ-12; V — УВ-13 (при диапазоне измерения $\leq 0,6 \text{ м}$ и $H = 300 \text{ мм}$ и $H_1 = 1340 \text{ мм}$; при диапазоне измерения $\geq 0,8 \text{ м}$ и $H = 1300 \text{ мм}$ и $H_1 = 1740 \text{ мм}$).
 Присоединительные фланцы А указателей уровня выполнены: УВ-11 $D_H = 100 \text{ мм}$, $p_H = 4,0$ и $6,4 \text{ Мн/м}^2$ с уплотнительной поверхностью «вступи» (по особому заказу может быть «шип», а для $p_H = 6,4 \text{ Мн/м}^2$, кроме того — под металлическую прокладку овального сечения); УВ-12 $D_H = 250 \text{ мм}$, $p_H = 4,0$ и $6,4 \text{ Мн/м}^2$ с уплотнительной поверхностью «выступ» (по особому заказу может быть «шип»); УВ-13 $D_H = 50 \text{ мм}$, $p_H = 6,4 \text{ Мн/м}^2$ с уплотнительной поверхностью «шипа» (по особому заказу может быть «выступ»).
 Уплотнительные поверхности и присоединительные размеры фланцев и соответствующие p_H по табл. 20.3 и 21.3. Цифровые индексы указателей уровня означают: первая цифра (1) — пневматический сигнал выхода, а вторая — порядковый номер модификации.

Размеры буйка в указателях уровня типа УВ (по данным рязанского завода «Теплоприбор»)

Таблица 28.5

Плотность жидкости, кг/м^3	Длина буйка l , м										Количество звеньев в буйке						
	0,4	0,6	0,8	1,0	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	6,0	8,0	10	1	2	3	4	5
	Диаметр буйка d , мм																
500—850	75	45	60	38	50	32	45	38	32	30	30	25	20	16	14	12	11
700—1200	60	38	50	32	45	30	38	30	30	25	25	20	16	14	12	11	11
1050—1800	50	32	45	30	38	25	32	25	25	20	20	16	14	12	11	11	11

Примечания: 1. Длина буйка соответствует диапазону измеряемого уровня (см. табл. 28.5).
 2. При заказе указателя уровня (см. обозначение его в табл. 28.5) необходимо дополнительно указать плотность жидкости.
 3. Второе значение диаметра буйка d при $l = 0,4 - 0,8$ указано для прибора УВ-12, все остальные значения — для УВ-11 и УВ-13.

Таблица 28.7

Регулятор уровня жидкости типа РУКЦ
(по данным завода «Ленинфтехип»)

Условное обозначение регулятора уровня с пределом регулирования уровня до 400 мм на $p_D = 1,6 \text{ Мн/м}^2$:
«Регулятор уровня РУКЦ—шк—16—400»

Типоразмеры	Пределы регулирования уровня, мм	Плотность жидкости, кг/м^3	p_D , Мн/м^2
16—400	До 400	700—1200	1,6
16—800	» 800		
40—400	» 400		4,0
40—800	» 800		
64—400	» 400		6,4
64—800	» 800		

Примечания:

1. Регулятор уровня предназначен для регулирования уровня жидкости — жидких нефтепродуктов — с содержанием сероводорода до 2%, плотностью 700—1200 кг/м^3 и температурой от минус 40 до плюс 200°С при избыточном давлении до 6,4 Мн/м^2 .

2. Пневмоустройство питается осушенным и очищенным воздухом под избыточным давлением 0,2—1,0 Мн/м^2 .

3. Габариты регулятора уровня см. на рис. 28.8.

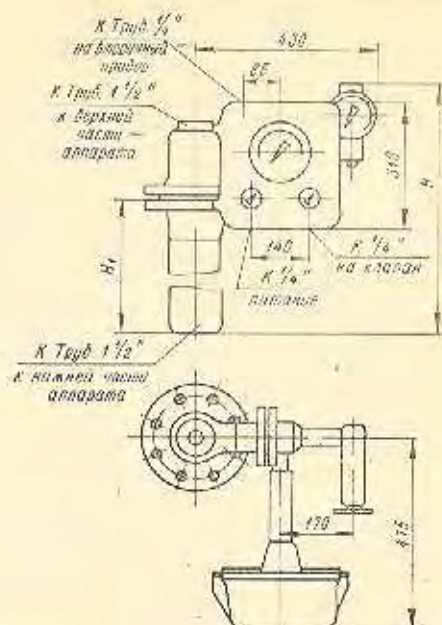


Рис. 28.8. Габариты буйкового регулятора уровня типа РУКЦ на $p_D \leq 6,4 \text{ Мн/м}^2$ по данным завода «Ленинфтехип». Высоты H и H_1 зависят от пределов регулирования и соответственно равны: для пределов регулирования 400 мм $H = 650$ мм и $H_1 = 400$ мм; для пределов регулирования 800 мм $H = 1080$ мм и $H_1 = 800$ мм

ОПОРЫ АППАРАТОВ. РАСЧЕТ АППАРАТОВ НА ВЕТРОВУЮ И СЕЙСМИЧЕСКУЮ НАГРУЗКИ

Установка химических аппаратов на фундаменты или на специальные несущие конструкции осуществляется большей частью с помощью опор. Непосредственно на

29.1 ОПОРЫ ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Конструкции опор

Таблица 29.1

Рекомендуемые значения допускаемой удельной нагрузки на опорной поверхности q_d^*

Вид опорной поверхности		q_d , Мн/м ²	Вид опорной поверхности	q_d , Мн/м ²
Деревянный настил:			Кирпичная кладка **: марка 200 » 100	$\leq 4,4$ $\leq 3,0$
Сосна, ель	вдоль волокон поперек волокон	≤ 32 $\leq 4,5$		
Дуб	вдоль волокон поперек волокон	≤ 42 $\leq 5,8$	Бетон: марка 300 » 200 » 100	≤ 23 ≤ 14 8
Береза, бук	вдоль волокон поперек волокон	≤ 35		
		$\leq 5,0$		
			Сталь, чугун	≤ 200

* При запасах прочности: $\gamma_0 \approx 4$ (для дерева) и $\gamma_0 \approx 5$ (для кирпича и бетона). Прочностные характеристики материалов опорной поверхности приняты из книги: Справочник инженера-строителя. Т. 1. Под ред. И. А. Окуфрейна и А. С. Данилевского. М., Стройиздат, 1968.

** При марке раствора ≥ 50 .

На рис. 29.1 показаны основные типовые конструкции сварных стальных опор для установки вертикальных аппаратов. Опоры типов I—V размещаются снизу аппарата, жестко соединены с ним и предназначены для цилиндрических аппаратов. Опоры типов VI—IX размещаются с боков аппарата, также жестко соединены с ним и предназначены для цилиндрических и коробчатых аппаратов.

Опоры типов I—III, VI и VII представляют собой цельные опорные конструкции, а типов IV, V, VIII и IX — отдельные опорные устройства (лапы, стойки), количество которых на аппарате должно быть не менее трех. В отдельных случаях небольшие аппараты можно устанавливать на двух лапах типов VIII и IX. В литых аппаратах опоры большей частью выполняются за одно целое с корпусом и днищем. Конструкция опор в этом случае может быть аналогичной опорам типов IV—IX.

Выбор типа опоры зависит от ряда условий: места установки аппарата (в помещении или на открытой площадке, соотношения высоты к диаметру аппарата, массы его и т. д.)

Опоры типов I—III рекомендуются применять при установке на открытой площадке колонных аппаратов, а также аппаратов, у которых отношение высоты опоры к диаметру аппарата $\frac{H}{D} \geq 5$. При этом опоры типа III

рекомендуется применять для аппаратов с $D \leq 1000$ мм.

Опоры типов IV и V рекомендуются применять для любых вертикальных аппаратов с эллиптическими или сферическими днищами, устанавливаемых на основании (фундамент) внутри помещения, а также вне помещения для аппаратов, у которых $\frac{H}{D} < 5$.

Опоры типов VI—IX применяются при подвеске аппаратов между перекрытиями или при установке их на специальные опорные конструкции.

В табл. 29.2—29.9 приведены основные данные о нормализованных опорах для вертикальных аппаратов, кото-

фундаменты устанавливаются лишь аппараты с плоским днищем, предназначенные главным образом для работы под наливом. Во всех случаях допускаемую удельную

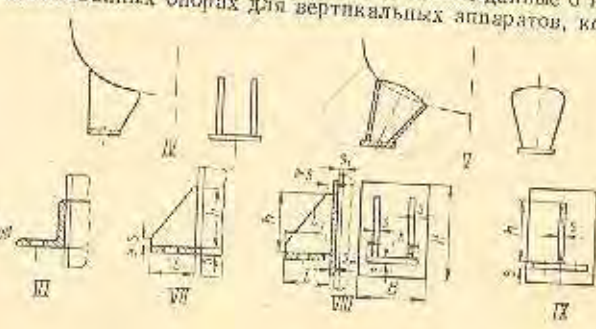
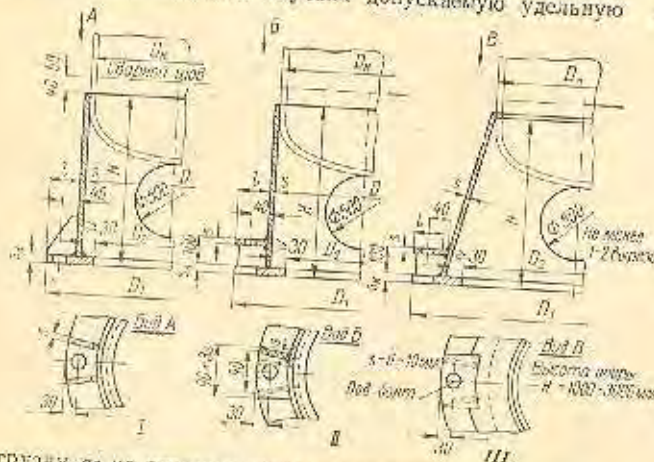


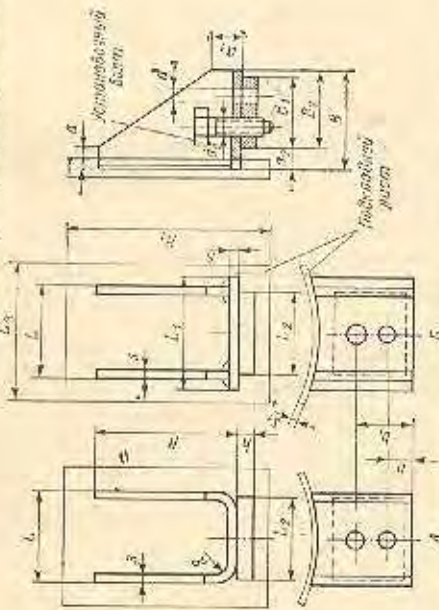
Рис. 29.1. Основные типовые конструкции опор для вертикальных аппаратов (в опорах I—III размеры 33, 40, 50 и 100 являются минимальными и действительными только для болтов М24 и М27)

нагрузку q_d на опорную поверхность рекомендуется принимать по табл. 29.1. Конструкции опор можно разбить на два основных вида: опоры для вертикальных аппаратов и опоры для горизонтальных аппаратов.

рые и следует применять при конструировании на требуемую нагрузку. Расчетная нагрузка, воспринимаемая опорой аппарата, определяется по максимальной силе тяжести его в условиях эксплуатации или гидравлического испытания

Таблица 29.2

Опоры (лапы) вертикальных цилиндрических аппаратов (типы I и II по ОН 26-01-69—68)



Условное обозначение опор типа I, исполнения А на нагрузку 0,01 Мн
 (1 лп): «Опора ОВ—I—А—1000 ОН 26-01-69—68».
 То же с покладным листом толщиной 8 мм: «Опора ОВ—I—А—1000—8
 ОН 26-01-69—68».

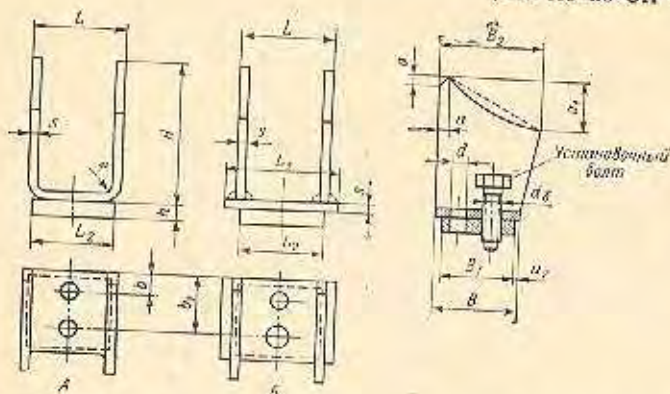
Q × 10 ⁶ , Мн (тс)	Тип опоры	мм														Исполнение		Подкладной лист					
		L	L ₁	L ₂	B	B ₁	B ₂	b	b ₁	H	h	s	a	a ₁	a ₂	R	d	d ₁	А	Б	s ₁	L ₄	H ₄
		Масса, кг																					
0,16	I	50	50	40	60	45	50	15	40	85	6	4	10	15	10	8	12	M10	0,46	0,50	4; 6;	75	120
	II	100	100	80	100	55	60	45	45	120	10	4	15	25	40	40	8	12	M10	0,73	0,81	8; 10	155	155
0,4	I	85	95	80	95	65	70	50	50	140	10	5	20	40	25	12	12	M10	1,08	1,15	6;	125	200
	II	160	160	75	80	75	80	60	60	190	10	5	20	40	80	12	12	M10	2,42	2,57	8	255	255
1,0	I	100	120	90	115	80	85	22	65	170	14	6	25	50	30	12	24	M16	2,55	2,65	10;	150	250
	II	195	195	85	90	85	90	70	70	235	14	6	25	50	105	12	24	M16	4,29	4,56	12	230	310
2,5	I	140	160	130	155	110	115	90	90	310	20	8	30	65	140	18	35	M20	6,56	6,84	8;	200	330
	II	255	255	110	115	110	115	90	90	310	20	8	30	65	140	18	35	M20	10,2	10,7	10	410	410
4,0	I	170	190	160	185	125	135	105	105	285	24	10	40	80	160	18	35	M24	8,96	9,46	12;	250	405
	II	315	315	145	155	145	155	115	115	390	24	10	40	80	160	18	35	M24	19,3	20,2	16	510	510
6,3	I	210	240	200	230	160	170	40	135	345	30	12	50	100	210	30	35	M30	21,9	22,6	10;	300	490
	II	360	360	200	230	160	170	40	135	470	30	12	50	100	210	30	35	M30	53,5	55,4	12	620	620
10,0	I	280	320	260	310	220	230	60	175	460	32	16	65	130	280	30	35	M35	48,9	50,5	16;	400	650
	II	520	520	230	240	230	240	60	175	620	32	16	65	130	280	30	35	M35	84,7	88,2	20	820	820
16,0	I	340	380	320	390	280	290	205	205	570	40	20	60	100	100	42	42	M42	95,4	95,4	12; 16;	500	810
	II	650	650	280	290	280	290	60	205	780	40	20	80	180	360	42	42	M42	136	136	24; 24	1020	1020
25,0	I	410	460	380	480	350	360	225	225	680	50	24	75	120	120	—	—	M48	—	—	17; 16; 20;	600	970
	II	800	800	360	360	360	360	225	225	940	50	24	100	220	435	—	—	M48	—	—	24; 28	600	1230

Примечание:

1. Исходная таблица опор типа I — для аппаратов без теплосилоизоляции; тип II — для аппаратов с теплосилоизоляцией.
2. Опоры обоих типов могут изготавливаться в двух исполнениях: А — штампованный; Б — сварными.
3. Материал опор — сталь углеродистая и коррозионноустойчивая.
4. Обечайки, к которым крепятся опоры, должны проектироваться на прочность, устойчивость и устойчивость. Подкладные листы под лапы на обечайках проектируются в тех случаях, когда это требуется по расчету.
5. Количество опор (лап) выбирает исходя из допускаемой нагрузки на одну опору и по конструктивным соображениям, но не менее двух.
6. Допускаемая нагрузка на одну опору.

Опоры (стойки) вертикальных цилиндрических аппаратов (тип III по ОН 26-01-69-68)

Таблица 29.3



Условное обозначение опоры исполнения А на нагрузку 0,01 Мн (1 тс): «Опора ОВ III-A-1000 ОН 26-01 69-68».

G*10 ⁶ , Мн (тс)	мм																		Исполнение	
	L	L ₁	L ₂	B	B ₁	B ₂	b	b ₁	H	k	s	a	a ₁	a ₂	R	d	d ₀	A	B	
																			Масса, кг	
0,4	90	100	80	85	75	120		60	210	10	6	6	60	5	8	19	M10	2,56	2,60	
1,0	120	140	100	115	100	160	22	70	280	14	8	6	80	10	10	24	M16	6,15	6,38	
2,5	150	170	130	140	105	200		90	350	20	10	10	105	20	12	24	M20	11,8	12,2	
4,0	170	200	150	180	150	240		110	420	24	12	12	125	20	12	35	M24	20,5	22,1	
6,3	200	230	180	210	165	280	40	135	490	30	14	15	150	30	18	35	M30	36,1	37,4	
10,0	270	310	240	250	200	360		175	630	32	18	20	180	35			M36	68,5	71,0	
16,0	360	400	340	340	250	480		205	840	40	24	25	250	60	30	42	M42		166	
25,0	500	550	470	490	380	680	60	225	1200	50	34	35	350	80			M48		461	

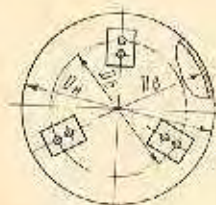
Примечания:

1. Опоры могут изготавливаться в двух исполнениях: А — штампованными; Б — сварными.
2. Материал опор — сталь углеродистая и коррозионностойкая.
3. Давцы под опорами должны проектироваться на местную прочность и устойчивость.
4. Привязочные размеры опор см. в табл. 29.4.

* Допускаемая нагрузка на одну опору.

Таблица 29.4
Привязочные размеры опор (стоек) в вертикальных цилиндрических аппаратах (по ОН 26-01-69-68)

Продолжение табл. 29.4



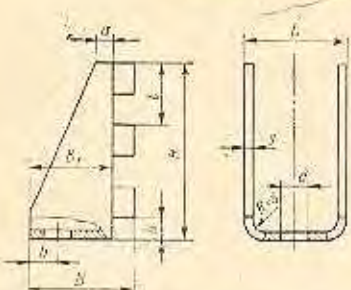
D _н	D _в	D _б	D _г	D _д	D _е	D _ж	D _з	D _и
мм								
219	—	160	650	570	1500	1360	2800	2610
273	—	215	700	620	1600	1410	3000	2810
325	—	265	800	720	1700	1510	3200	2960

D _н	D _в	D _б	D _г	D _д	D _е	D _ж	D _з	D _и
мм								
377	—	320	900	820	1800	1610	3400	3160
—	400	340	1000	920	1900	1710	3600	3360
—	450	390	1100	1000	2000	1810	3800	3580
—	500	430	1200	1100	2200	2010	4000	3760
—	550	480	1300	1200	2400	2210	4500	4260
—	600	520	1400	1260	2600	2410	5000	4760

Примечание. Количество опор (стоек) выбирают исходя из допускаемой нагрузки на одну опору и по конструктивным соображениям, но не менее трех.

Таблица 29.5

Опоры (лапы) для вертикальных цилиндрических стальных эмалированных аппаратов
(по ОН 26-01-32—66)



Условное обозначение опоры на нагрузку 0,001 Мн (0,1 тс): «Опора (лапа) 0,1 ОН 26-01-32—66».

G* 10 ³ , Мн (тс)	L	B	B ₁	b	H	h	s	α	d	l	Масса, кг
0,04	80	60	40	15	90	6	3	10	15	—	0,26
0,063					96	8	4				0,46
0,1	100	75	55	20	120	12	6	19	—	—	0,88
0,25		90	60		155						1,94
0,63	115	105	75	25	220	16	8	20	24	78	2,82
1,0	135	120	90	30	250					92	3,81
2,5	150	180	140	40	340	24	12	30	28	88	10,9
4,0	170	220	180	45	380					100	12,9

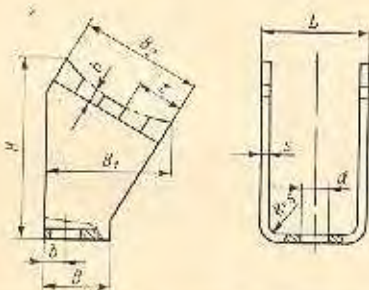
Примечания:

1. Материал опор — сталь марки Ст.3, накладок — тот же, что для обечайки аппарата.
2. Накладки привариваются к обечайке до эмалировки, а опора приваривается к накладкам после эмалировки.
3. Обечайка аппарата в месте крепления к ней опоры должна быть рассчитана на прочность.

* Допускаемая нагрузка на одну опору.

Таблица 29.6

Опоры (стойки) для вертикальных цилиндрических стальных эмалированных аппаратов
(по ОН 26-01-33—66)



Условное обозначение опоры на нагрузку 0,001 Мн (0,1 тс): «Опора-стойка 0,1 ОН 26-01-33—66».

G* 10 ³ , Мн (тс)	D _в **	L	B	B ₁	D ₂	h	b ₁	H	s	d	l	Масса, кг
0,10	400—500	100	60	132	125	30	20	215	6	19	—	2,12
0,25			70	155	150			238				2,66
0,63	800—900	115	100	230	230	25	356	10	24	90	9,66	
1,0	1000—1200	135	120	260	265					390	12,0	
2,5	1400—1600	200	160	330	325	50	30	455	16	28	90	31,2
4,0	1600—1800	240	180	400	400						550	115	41,9

Примечания:

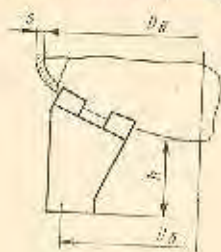
1. Материал опор — сталь марки Ст.3, накладок — тот же, что для днища аппарата.
2. Накладки привариваются к днищу до эмалировки, а опора приваривается к накладкам после эмалировки.

* Допускаемая нагрузка на одну опору.

** Внутренний диаметр аппарата.

Таблица 29.7

Привязочные размеры опор (стоек) в вертикальных цилиндрических стальных эмалированных аппаратах (по ОН 26-01-33-66)



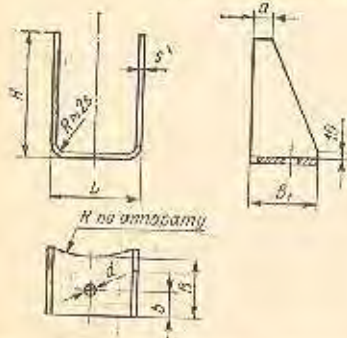
$D_н$	$D_б$	h	s^*	$D_н$	$D_б$	h	s^*
мм							
400	340	145	6	1000	920	225	12
500	430	135		1200	1100	205	
600	520	145		1400	1260	280	
700	620	130	8	1600	1410	255	11
800	720	220		1800	1610	290	
900	820	210	10				16

Примечание. Количество опор (стоек) выбирается исходя из допустимой нагрузки на одну опору и конструктивных соображений, но не менее трех.

* Рекомендуемая толщина стенки дна аппарата при $p = 0,6 \text{ МПа}$. При толщине меньше рекомендуемой или p , превышающей $0,6 \text{ МПа}$, следует обозначать выбор толщины стенки дна из условия его прочности в месте крепления с опорой.

Таблица 29.8

Опоры (лапы) для вертикальных цилиндрических аппаратов из винипласта (тип 2 по ОН 26-01-29-66)



Условие обозначение опоры на нагрузку $0,002 \text{ Мн}$ (200 кгс): «Опора (лапа) 2-200 ОН 26-01-29-66»

$G \cdot 10^3$ Мн (кгс)	L	B	B_1	b	H	d	s	a	Масса, кг
мм									
16	80	55	60	25	120	13	7	10	0,15
25	90	65	72		140				0,20
60	100	80	86	30	150				0,35
80	110	90	96	45	170	17	10	12	0,45
125	120	100	106		210				0,60

Продолжение табл.29.8

$G \cdot 10^3$ Мн (кгс)	L	B	B_1	b	H	d	s	a	Масса, кг
мм									
200	150	110	118	50	240	17	12	15	0,80
315		120	128		260				0,95
500	160	130	138	60	280	19	14		1,2
600	180	140	148		300			1,4	

Примечания:

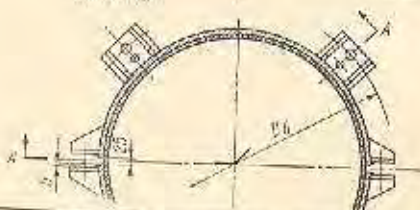
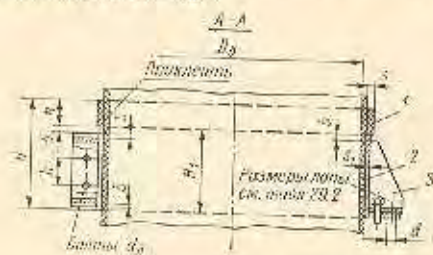
1. Материал — винипласт марки ВП.
2. Опоры привариваются к обечайке аппарата.
3. Область применения по температуре от 0 до $+40^\circ \text{C}$.

* Допускаемая нагрузка на одну опору.

Таблица 29.9

Опоры (лапы) на стальном бандаже для вертикальных цилиндрических аппаратов из винипласта (тип 3 ОН 26-01-29-66)

Условное обозначение опоры $D_н = 500 \text{ мм}$: «Опора (лапа) 3-500 ОН-01-29-66»



$G \cdot 10^3$ Мн (кгс)	$D_н$	$D_б$	H	H_1	h	s	s_1	d	$d_б$	Масса, кг
мм										
10,18	250	328	155	105	50	8	4	12	M12	7,12
10,24	300	400	170	120						9,04
0,40	400	504	150	120	60	10	6	12	M16	11,0
0,64	500	626	195	135						15,8
1,0	600	750	215	155	80	12	8	12	M16	18,4
1,6	700	864	235	155						33,4
3,4	800	978	265	205	100	14	10	12	M16	40,2
4,0	900	1085	335	235						60,0
	1000	1212	365	265	16	12	10	12	M16	67,1

Примечания:

1. Материал: детали 1 (опорный пояс) — винипласт, улиты 2 (бандаж в сборе) и 3 (лапы, 4 шт.) — сталь марки Ст.2 или Ст.3.
2. Лапы по ОН 26-01-69-68 тип 1 (см. табл. 29.2); для $G \cdot 10^3 \leq 0,64 \text{ Мн}$ — грузоподъемностью 0,0015 Мн каждая; для $G \cdot 10^3 = 1,0-1,6 \text{ Мн}$ — 0,004 Мн каждая; для $G \cdot 10^3 \geq 2,4 \text{ Мн}$ — 0,01 Мн каждая.
3. Опорный пояс 1 приваривается к обечайке перхлорвиниловым клеем по ВТУ № М 164-52. Стык пояса сваривается при сборке аппарата.
4. Область применения по температуре от 0 до $+40^\circ \text{C}$.

* Допускаемая нагрузка на всю опору (четыре лапы).

(при заполнении аппарата водой) с учетом возможных дополнительных внешних нагрузок от силы тяжести трубопроводов, арматуры и т. д. При определении расчетной нагрузки на опоры аппаратов, устанавливаемых на открытых площадках, кроме указанного должны быть учтены ветровые и возможные сейсмические нагрузки.

Расчет опор

Расчет опор типов I—III, предназначенных для цилиндрических колонных аппаратов, устанавливаемых на открытых площадках, производят исходя из ветровой и сейсмической нагрузок (см. пп. 29.3 и 29.4). Из числа других типов опор для вертикальных аппаратов наиболее характерными являются типы VII—IX (см. рис. 29.1). В таких опорах расчетом определяются: размеры ребер, сварные или паяные швы и местные напряжения в цилиндрических стенках аппарата в местах присоединения к ним опор.

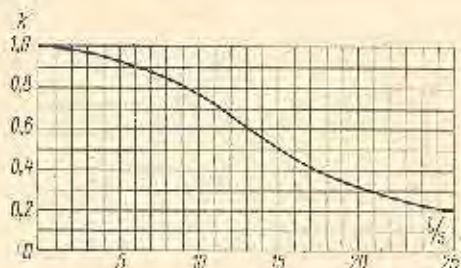


Рис. 29.2. График для определения коэффициента k в формуле (29.1)

Отношение вылета к высоте ребра $\frac{l}{h}$ рекомендуется принимать равным 0,5.

Расчетная толщина ребра s' и m (см) определяется по формуле [58]

$$s' = \frac{2,24G}{kz\sigma_{ад}l} \quad (29.1)$$

где G — нагрузка на одну опору (лапу) в Mn (кгс);

k — коэффициент, зависящий от соотношения $\frac{l}{s}$;

z — количество ребер в опоре (лапе) принимается из конструктивных соображений;

l — вылет опоры в м (см) принимается из конструктивных соображений.

Значение коэффициента k в формуле (29.1) рекомендуется предварительно принять $k = 0,6$. Если при этом s' получится не менее $\frac{l}{18}$, то расчетная величина s' является окончательной.

В противном случае значение коэффициента k необходимо уменьшать с пересчетом толщины s' и последующей проверкой $\frac{l}{s}$ по графику на рис. 29.2.

Расчетная толщина ребра s' округляется до ближайшего большего размера s по сортаменту. Толщина опорной части принимается не менее s .

В случае приварки опоры (лапы) к корпусу аппарата прочность сварных швов должна отвечать условию

$$G \leq 0,7L_{ш}h_{ш}\sigma_{св} \quad (29.2)$$

где $h_{ш}$ — катет сварного углового шва в м (см);

$L_{ш}$ — общая длина сварных швов в м (см).

В местах присоединения опор к цилиндрической стенке аппарата в последней возникают местные напря-

жения (сверху — сжимающие, снизу — растягивающие), величина которых, особенно в тонких стенках, может достигать значительной величины. Определение этих напряжений при отношении длины цилиндрического корпуса к его диаметру > 2 производится следующим образом [15]. Если присоединения к цилиндрическому корпусу лапы (см. рис. 29.1, тип VIII) имеет форму квадрата, т. е.

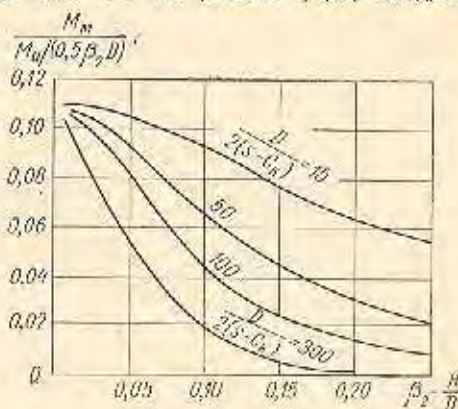


Рис. 29.3. Графики для определения относительного к единице длины меридионального момента M_m , действующего на стенку цилиндрического корпуса аппарата в месте присоединения к нему лапы квадратной формы

$B = H$, то относенные к единице длины максимальный меридиональный момент M_m и максимальный кольцевой момент M_k , действующие на стенку корпуса сверху и снизу лапы, определяются по графикам на рис. 29.3 и 29.4. Момент M_m определяется в зависимости от параметров $\beta_2 = \frac{H}{D} \cdot \frac{M_m}{M_{ад}(0,5\beta_2 D)}$ и $\frac{D}{2(s - C_k)}$, а момент

M_k — в зависимости от параметров $\beta_1 = \frac{B}{D} \cdot \frac{M_k}{M_{ад}(0,5\beta_1 D)}$

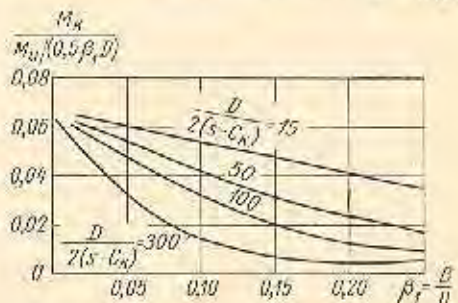


Рис. 29.4. Графики для определения относительного к единице длины кольцевого момента M_k , действующего на стенку цилиндрического корпуса в месте присоединения к нему лапы квадратной формы

и $\frac{D}{2(s - C_k)}$, где $M_{ад}$ — приложенный к лапе изгибающий момент, равный нагрузке на лапу G , умноженной на плечо l приложения этой нагрузки, в $Mn \cdot m$ (кгс·см); D — диаметр (внутренний или наружный) корпуса аппарата в м (см); s — толщина стенки корпуса в м (см); C_k — прибавка на коррозию в м (см).

Отнесенные к единице длины меридиональная P_m и кольцевая P_k силы, действующие на стенку корпуса

(при квадратной форме лапы), определяются по графикам на рис. 29.5 и 29.6 в зависимости от параметров $\beta_1 = \frac{H}{D}$,

$$\frac{P_M}{M_{ul}(0,25\beta_1 D^2)} \text{ и } \frac{D}{2(s-C_K)} \text{ — при определении } P_M \text{ — и}$$

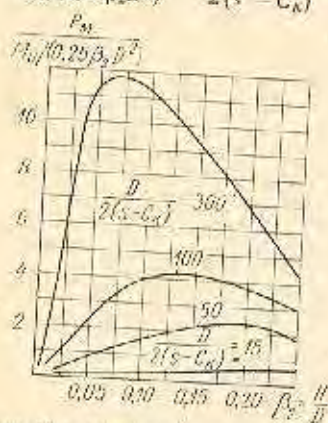


Рис. 29.5. Графики для определения отнесенной к единице длины меридиональной силы P_M , действующей на стенку цилиндрического корпуса в месте присоединения к нему лапы квадратной формы

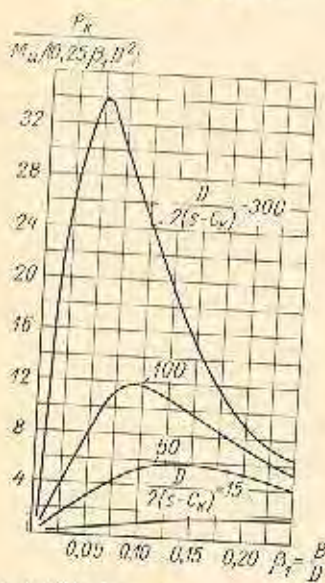


Рис. 29.6. Графики для определения отнесенной к единице длины кольцевой силы P_K , действующей на стенку цилиндрического корпуса в месте присоединения к нему лапы квадратной формы

в корпус аппарата в месте присоединения лапы (сверху) определяются по формулам в меридиональном направлении:

$$\sigma_c = \frac{P_M}{s-C_K} + \frac{6M_K}{(s-C_K)^2} \leq \sigma_{cd}; \quad (29.5)$$

от параметров $\beta_1 = \frac{B}{D} \cdot \frac{P_K}{M_{ul}(0,25\beta_1 D^2)}$ и

$\frac{D}{2(s-C_K)}$ — при определении P_K .

Если форма лапы не квадратная, а прямоугольная, то определение моментов M_K и $M_{K'}$ производится по тем же графикам (рис. 29.3 и 29.4), но для параметра β , величина которого определяется по формуле

$$\beta = K \sqrt{\beta_1 \beta_2^2}, \quad (29.3)$$

где K — коэффициент, зависящий от $\frac{B}{H}$ и

$\frac{D}{2(s-C_K)}$ и определяемый по графикам на рис. 29.7*

Силы P_M и P_K при прямоугольной форме лапы определяются по тем же графикам, что и при квадратной (рис. 29.5 и 29.6), но для параметра β , величина которого определяется по формуле

$$\beta = \sqrt{\beta_1 \beta_2^2}, \quad (29.4)$$

где значения величины те же, что и в (29.3).

За расчетные значения сил P'_M и P'_K в этом случае принимаются значения, полученные по графикам на рис. 29.5 и 29.6, но с коэффициентом K , определяемым по графикам на рис. 29.8*.

Суммарные напряжения сжатия σ_c и M_{ul}/m^2 ($кгс/см^2$)

в кольцевом направлении

$$\sigma_c = \frac{P_K}{s-C_K} + \frac{6M_K}{(s-C_K)^2} \leq \sigma_{cd}, \quad (29.6)$$

где s — толщина стенки цилиндрического корпуса в м (см) — для лап без подкладки, суммарная толщина стенки цилиндрического корпуса и подкладки — для лап с подкладкой.

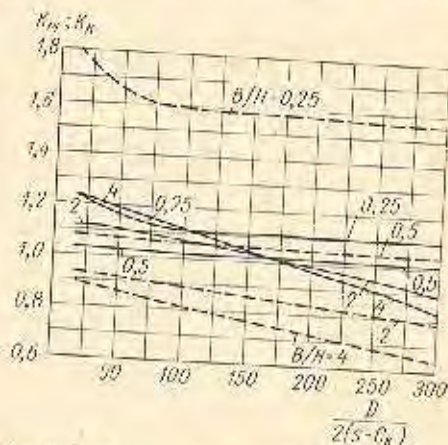


Рис. 29.7. Графики для определения коэффициента K в формуле (29.3);

— $K_{M'}$; — K_K

Пример 29.1. Определить основные размеры опоры (лапы) типа VIII (см. рис. 29.1) для вертикального цилиндрического аппарата, подвешенного на четырех лапах, по следующим данным: нагрузка, воспринимаемая одной лапой, $G = 0,1$ Мн; материал корпуса аппарата и лап — сталь ($\sigma_{cd} = \sigma_{cd} = 120$ Мн/м²); число ребер в лапе $z = 2$; вылет опоры $l = 0,25$ м; лапы опираются на дере-

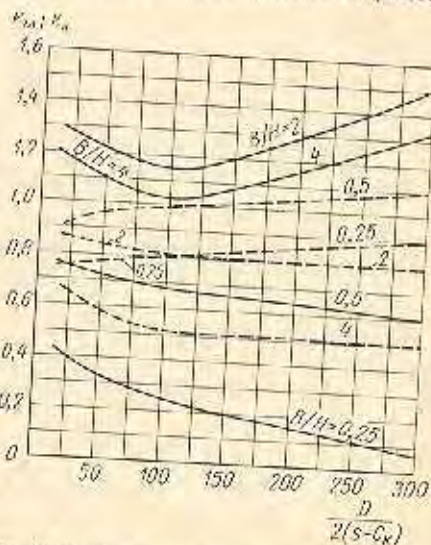


Рис. 29.8. Графики для определения коэффициента K при определении расчетных сил P'_M и P'_K , действующих на стенку цилиндрического корпуса при прямоугольной форме лап: — $K_{M'}$; — K_K

* Построены по данным табл. IV.8 в [15].

ванные подкладки ($q_d = 2 \text{ Мн/м}^2$); толщина стенки цилиндрического корпуса аппарата $s = 20 \text{ мм}$ ($C_K = 2 \text{ мм}$), диаметр корпуса $D_a = 2 \text{ м}$.

Принимаем отношение вылета лапы к высоте ребра $\frac{l}{h} = 0,5$. Тогда

$$h = \frac{l}{0,5} = \frac{0,25}{0,5} = 0,5 \text{ м.}$$

Расчетную толщину ребра лапы при $k = 0,6$ определяем по формуле (29.1):

$$s' = \frac{2,24G}{kz\sigma_{ад}l} = \frac{2,24 \cdot 0,1}{0,6 \cdot 2 \cdot 120 \cdot 0,25} = 6,2 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 6,2 \text{ мм.}$$

Отношение $\frac{l}{13} = \frac{0,25}{13} = 0,0192 > s' = 0,0062$, поэтому уменьшаем значение k до $0,275$, при котором по графику на рис. 29.2 $\frac{l}{s} = 22$. Пересчитываем s' :

$$s' = 0,0062 \cdot \frac{0,6}{0,275} = 0,0135 \text{ м} > \frac{0,25}{22} = 0,0114 \text{ м.}$$

Принимаем с учетом прибавки на коррозию толщину ребра $s = 16 \text{ мм}$. Выбираем длину опорной плиты лапы $l_1 = 0,23 \text{ м}$, а толщину ее $s = 18 \text{ мм}$.

Расчетная ширина опорной плиты лапы

$$b' = \frac{G}{l_1 q_d} = \frac{0,1}{0,23 \cdot 2} = 0,218 \text{ м.}$$

Принимаем $b = 0,22 \text{ м}$.

Ребра привариваются к корпусу сплошным круговым швом с катетом $h_{ш} = 8 \text{ мм}$. Общая длина сварного шва

$$L_{ш} = 4(h + s) = 4(0,5 + 0,016) = 2,06 \text{ м.}$$

Прочность сварного шва при $\tau_{св} = 80 \text{ Мн/м}^2$ проверяем по формуле (29.2):

$$G = 0,1 \text{ Мн} < 0,7 L_{ш} h_{ш} \tau_{св} = 0,7 \cdot 2,06 \cdot 0,008 \cdot 80 = 0,925 \text{ Мн} (92\,500 \text{ кгс}),$$

т. е. прочность обеспечена.

Полагая $b = B$ и $h = H$, определим максимальные напряжения сжатия в корпусе аппарата в месте присоединения к нему лап. Предварительно находим значения параметров:

$$\beta_1 = \frac{B}{D} = \frac{0,22}{2} = 0,11; \quad \beta_2 = \frac{H}{D} = \frac{0,5}{2} = 0,25;$$

$$\frac{D}{2(s - C_K)} = \frac{2}{2(0,02 - 0,002)} = 55,6; \quad \frac{B}{H} = \frac{0,22}{0,5} = 0,44.$$

Момент от реакции опоры, действующий на лапу при расчетном плече $l' = 0,15 \text{ м}$,

$$M_a = Gl' = 0,1 \cdot 0,15 = 0,015 \text{ Мн} \cdot \text{м} (150\,000 \text{ кгс} \cdot \text{см}),$$

По графикам на рис. 29.7 определяем значение коэффициентов K : для $\frac{B}{H} = 0,44$ и $\frac{D}{2(s - C_K)} = 55,6$ $K_M \approx 1,04$ и $K_K \approx 1,08$.

Параметр β для нахождения моментов, действующих на корпус, определяем по формуле (29.3):

для определения меридиональных моментов

$$\beta = K_M \sqrt{\beta_1 \beta_2^3} = 1,04 \sqrt{0,11 \cdot 0,25^3} = 0,1975;$$

для определения кольцевых моментов

$$\beta = K_K \sqrt{\beta_1 \beta_2^3} = 1,08 \sqrt{0,11 \cdot 0,25^3} = 0,205.$$

По графику на рис. 29.3 при $\beta_2 = 0,1975$ и $\frac{D}{2(s - C_K)} = 55,6$ определяем параметр $\frac{M_M}{M_{a1}(0,5\beta_2 D)} = 0,03$, откуда

$$M_M = \frac{0,03 M_a}{0,5\beta_2 D} = \frac{0,03 \cdot 0,015}{0,5 \cdot 0,1975 \cdot 2} \approx 0,00228 \text{ Мн} \cdot \text{м/м} (228 \text{ кгс} \cdot \text{см/см}).$$

По графику на рис. 29.4 при $\beta_2 = 0,205$ и $\frac{D}{2(s - C_K)} = 55,6$ определяем параметр $\frac{M_K}{M_{a1}(0,5\beta_1 D)} \approx 0,04$, откуда

$$M_K = \frac{0,04 M_a}{0,5\beta_1 D} = \frac{0,04 \cdot 0,015}{0,5 \cdot 0,205 \cdot 2} = 0,001464 \text{ Мн} \cdot \text{м/м} (146,4 \text{ кгс} \cdot \text{см/см}).$$

Параметр β для нахождения сил, действующих на корпус, определяем по формуле (29.4):

$$\beta = \sqrt{\beta_1 \beta_2^3} = \sqrt{0,11 \cdot 0,25^3} = 0,19.$$

По графику на рис. 29.8 определяем значение коэффициентов K : для $\frac{B}{H} = 0,44$ и $\frac{D}{2(s - C_K)} = 55,6$ $K_M \approx 0,7$ и $K_K \approx 0,97$.

Для $\beta = 0,19$ и $\frac{D}{2(s - C_K)} = 55,6$ находим по графику на рис. 29.5 $\frac{P_M}{M_{a1}(0,25\beta D^2)} \approx 2,2$; по графику на рис. 29.6 $\frac{P_K}{M_{a1}(0,25\beta D^2)} \approx 5,5$, откуда значения P_M и P_K будут равны:

$$P_M = K_M \frac{2,2 M_a}{0,25\beta D^2} = 0,7 \frac{2,2 \cdot 0,015}{0,25 \cdot 0,19 \cdot 2^2} = 0,1215 \text{ Мн/м} (121,5 \text{ кгс/см});$$

$$P_K = K_K \frac{5,5 M_a}{0,25\beta D^2} = 0,97 \frac{5,5 \cdot 0,015}{0,25 \cdot 0,19 \cdot 2^2} = 0,42 \text{ Мн/м} (420 \text{ кгс/см}).$$

Суммарные напряжения сжатия в корпусе аппарата при толщине стенки $s = C_K = 0,018 \text{ м}$ в месте присоединения лапы (сверху) определяем:

$$\sigma_c = \frac{P_M}{s - C_K} + \frac{6M_M}{(s - C_K)^2} = \frac{0,1215}{0,018} + \frac{6 \cdot 0,00228}{0,018^2} = 6,75 + 42,2 = 48,95 \text{ Мн/м}^2 (489,5 \text{ кгс/см}^2);$$

$$\sigma_c = \frac{P_K}{s - C_K} + \frac{6M_K}{(s - C_K)^2} = \frac{0,42}{0,018} + \frac{6 \cdot 0,001464}{0,018^2} = 23,3 + 27,1 = 50,4 \text{ Мн/м}^2 (504 \text{ кгс/см}^2).$$

Как видно, оба напряжения меньше допускового, следовательно, лапа может быть применена без накладки — ребра привариваются непосредственно к корпусу.

29.2 ОПОРЫ ДЛЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Конструкция опор

На рис. 29.9 показаны основные типовые конструкции сварных стальных опор для горизонтальных цилиндрических аппаратов. Опоры типа I и II размещаются снизу аппарата и могут быть отъемными (левая сторона) или жестко

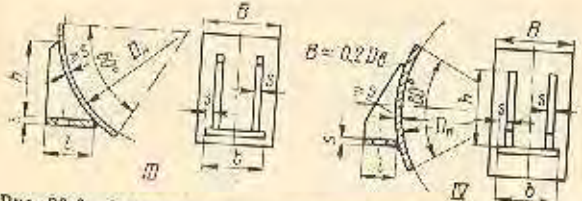
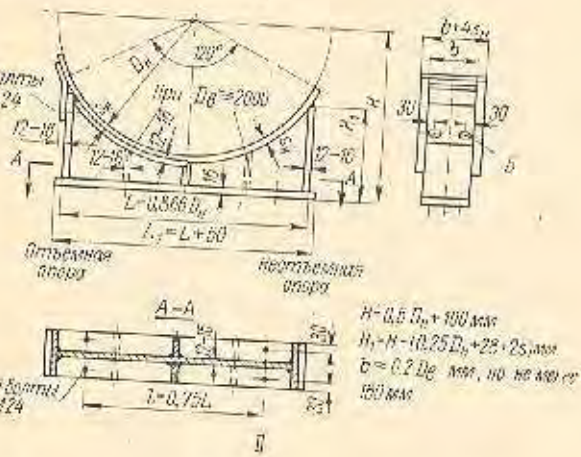
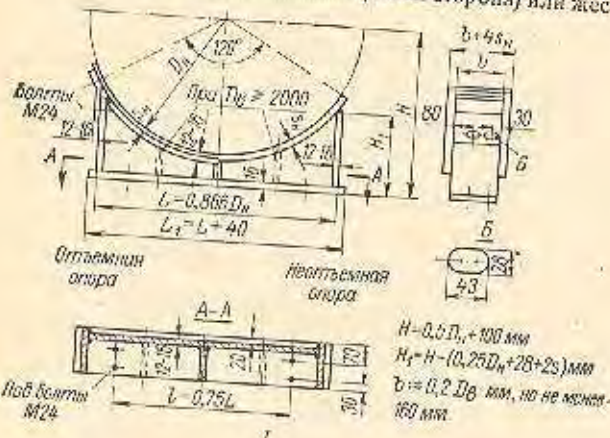


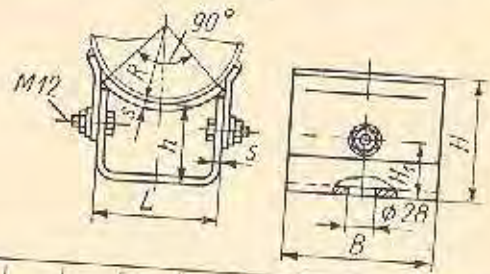
Рис. 29.9. Основные типовые конструкции опор для горизонтальных аппаратов

соединенными с аппаратом (правая сторона). Опоры типов III и IV размещаются с боков аппарата и жестко соединены с последним. Количество опор типа I, II и парных опор типов III и IV на аппарате обычно составляет две-три.

Таблица

Опоры горизонтальных аппаратов типа ОГ с наружным диаметром от 159 до 299 мм (по МН 5130—63)

Условное обозначение опоры для аппарата с $D_n = 159$ мм на нагрузку 0,016 Мн (1,6 тс): «ОГ—159—1,6 МН 5130—63».



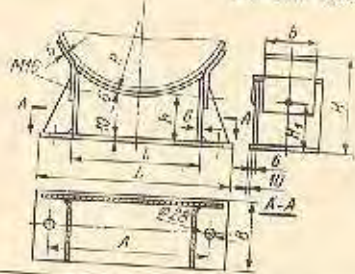
$G^* 10^3$ M_n (тс)	мм										Масса кг
	D_n	L	B	H	H_1	a	R	s			
1,6	159	125	150	130	55	80					5,1
2,0	219	167	150	140	64	75					6,4
2,5	273	206		180	84	110					12,6
3,2	299	225	200	190	88	100	137	150	10		13,5

Примечание. Материал — сталь марок ВСт.3 или ВСт.3кп.

* Допускаемая нагрузка на одну опору.

Таблица 29.1

Опоры горизонтальных аппаратов типа ОГ с наружным диаметром от 325 до 720 мм (по МН 5131—63)



Условное обозначение опоры для аппарата с $D_n = 325$ мм на нагрузку 0,07 Мн (7 тс): «Опора ОГ—325—7 МН 5131—63».

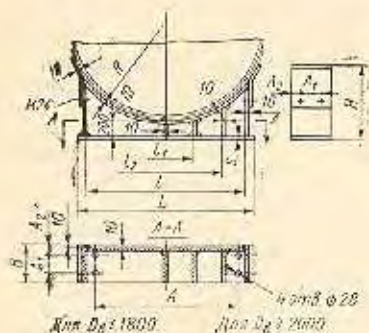
$G^* 10^3$ M_n (тс)	мм										Масса, кг
	D_n	L	l	B	b	H	H_1	a	R	s	
7	325					210	110	125		163	14,8
9	377	450				220	124	135	330	176	14,7
11	426		230	180	140	240	120			189	15,2
	480		250			250	130	145		213	15,5
15	530	500	290							240	16,0
20	630	570	340	220	150	300			160	380	22,6
31	720	640	410	250	210	320			175	450	25,1
										520	31,9

Примечание. Материал — сталь марок ВСт.3 или ВСт.3кп.

* Допускаемая нагрузка на одну опору.

Таблица 29.12

Опоры горизонтальных аппаратов типа ОГ с внутренним диаметром от 800 до 4000 мм (по МН 5132—63)



Условное обозначение опоры для аппарата с $D_{в} = 2000$ мм на нагрузку 0,3 МН (30 тс): «Опора ОГ—II—2000—30 МН 5132—63».

Тип	$G \cdot 10^2$, Мн (тс)	$D_{в}$	L	l	l_1	l_2	мм						s	Масса, кг							
							B	H	A	A_1	A_2	R									
I	17	800	750	705	—	—	200	440	500	90	55	422	18	67,9							
	16	900	850	805					480					650	474						
	14	1000	950	905					515					800	524						
	12	1100	1050	1000					550					800	576						
	13	1200	1140	1090			250	580	140	626	126										
	13	1300	1220	1170								678									
	12	1400	1240	1190								730									
	15	1600	1460	1410								824									
II	30	2000	1840	1790	1000	—	400	785	1500	100	75	1030	150	220							
														2200	2000	1950	840	1120	316		
														2400	2150	2100	855	1230	335		
														2600	2320	2270	920	1320	438		
							2800	2500	2450	980	1420	470									
							3000	2650	2600	1000	2200	1528		494							
							3200	2880	2830	1400	1100	1630		542							
							3400	3040	2990	1500	1130	2390		1732	572						
III	90	3600	3200	3150	1000	2100	500	1185	2800	150	1828	22	704								
													3800	3380	3330	1100	2200	1240	2800	1928	745
													4000	3560	3510	1100	2300	1295	2028	784	

Примечания:

1. Материал — сталь марок ВСт.3 или ВСт.Зкп.
2. Между корпусом аппарата и опорой с целью предохранения корпуса от смятия в местах опор устанавливается подкладной лист (по МН 5133—63) толщиной от 4 до 16 мм (с интервалом в 4 мм), который приваривается к аппарату прерывистым швом по периметру.
3. Опоры типа I имеют одно ребро, типа II — три ребра, типа III — пять ребер.

* Допускаемая нагрузка на одну опору.

Опоры типов III и IV рекомендуется применять для аппаратов, имеющих отношение толщины стенки к диаметру $\frac{s - C_k}{D} > 0,02$, причем при $\frac{s - C_k}{D} \geq 0,04$ — без подкладок.

При применении съемных опор на одной из концевых опор аппарат закрепляется неподвижно, а на других должно быть обеспечено относительное перемещение аппарата вдоль оси при возможных температурных удлинениях его. Для этой цели в лапках на корпусе аппарата, с помощью которых аппарат крепится болтами к опоре, предусматриваются овальные отверстия (рис. 29.9, типы I и II). Все опоры в этих случаях жестко соединяются с фундаментом.

При несъемных опорах одна из опор жестко соединяется с фундаментом, остальные же должны иметь свободное перемещение относительно фундамента, что достигается установкой под опоры стальных плит, допускающих скольжение по ним опор. Для уменьшения трения между плитой и опорой устанавливаются цилиндрические катки, количество которых под каждой опорой может быть один, два и более в зависимости от нагрузки, воспринимаемой опорой.

В тех случаях, когда исключается изменение длины аппарата от температурных удлинений, допускается подвижные опоры на аппарате не предусматривать.

В местах опор на корпус аппарата действуют сосредоточенные нагрузки (реакция опор), благодаря которым в аппаратах с $\frac{s - C_k}{D} \leq 0,04$ имеется опасность местной потери устойчивости корпуса. Поэтому опоры в аппарате должны быть выбраны столько, сколько требуется для обеспечения достаточной прочности и устойчивости корпуса.

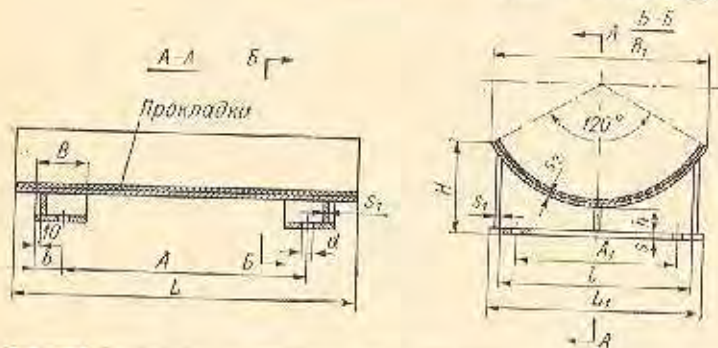
В табл. 29.10—29.13 приведены основные данные о нормализованных опорах для горизонтальных аппаратов.

Расчет опор

При установке горизонтального цилиндрического аппарата на опоры расчетом проверяется прочность и устойчивость корпуса аппарата при действии силы тяжести самого аппарата и его содержимого с учетом возможных дополнительных внешних нагрузок.

Таблица 29.13

Опоры для горизонтальных цилиндрических аппаратов на винипласте (тип I по ОН 26-01-29-66)



Условное обозначение опоры с $D_a = 500$ мм: «Опора I—500 ОН 26-01-29-66»

G ^н · 10 ² , Мн (кгс)	мм																Масса, кг
	D _a	L	L ₁	l	B	B ₁	b	H	k	A	A ₁	s	s ₁	s _н	d		
4,0	250	260	240	200	60	210	38	190	120	160	120						
6,3	300	480	288	248		288		214	130	360	168				22	7,0	
8,0	400	660	380	340	80	382	50	260	140	500	240			6		11,0	
10,0	500	650	470	430	100	472	60	296	160		330	10	6			20,0	
12,0	600	680	568	524	120	568	70	342		480	408			8		30,0	
16,0	700	850	664	620	140	664	80	370		600	534				30	42,0	
17,0	800	950	760	710	160	760	90	396	180	700	580					60,0	
19,0	1000	1240	940	890	200	940	100	448		900	700	12	9	10		92,0	
																136	

Примечания:

1. Материал всех деталей опоры — сталь марок Ст.2 или Ст.3, прокладки — резина КШ-М ГОСТ 7338-65.
2. Область применения по температуре от 0 до +40° С.

* Допускаемая нагрузка на всю опору.

Расчет корпуса аппарата на изгиб от всех указанных нагрузок производится как неразрезной балки кольцевого сечения постоянной жесткостью, лежащей на соответствующем количестве опор. Наиболее частыми в практике химического аппаратостроения являются случаи установки горизонтальных цилиндрических аппаратов на двух и трех опорах.

На рис. 29.10 показаны расчетные схемы для таких аппаратов. Для аппарата на двух опорах по схеме I; реакции опор в Мн

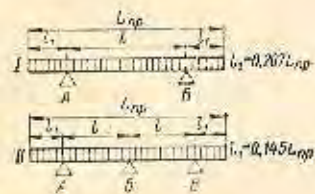


Рис. 29.10. Расчетные схемы нагрузок от действия сил тяжести для горизонтальных аппаратов

(кгс)

$$P_A = P_B = 0,5G; \quad (29.7)$$

расчетный изгибающий момент в Мн·м (кгс·см)

$$M_{из} = 0,0215GL_{кр}. \quad (29.8)$$

Для аппарата на трех опорах по схеме II; реакции опор в Мн (кгс)

$$P_A = P_B = 0,323G; \quad (29.9)$$

$$P_B = 0,354G; \quad (29.10)$$

расчетный изгибающий момент на всех опорах

$$M_{из} = 0,0105GL_{кр}. \quad (29.11)$$

В формулах (29.7)–(29.11) значения величин:

G — общая сила тяжести аппарата с содержащейся в нем средой и вертикальные внешние нагрузки (с учетом их знака) в Мн (кгс);

$L_{кр}$ — приведенная длина аппарата в м (см).

Приведенная длина аппарата (при наличии двух одинаковых днищ)

$$L_{кр} = L_{к} + 2L_{д}. \quad (29.12)$$

где $L_{к}$ — длина цилиндрической части корпуса в м (см);

$L_{д}$ — длина днища, приведенная к цилиндрической части корпуса, в м (см).

Приведенная длина днища (при заполненном средой аппарате) определяется по формуле

$$L_{д} = \frac{G_{д} + V_{д}g\rho_c}{0,785g[\rho(D_{н}^2 - D_{в}^2) + \rho_c D_{н}^2]}, \quad (29.13)$$

где g — ускорение силы тяжести в м/сек² (см/сек²);

$G_{д}$ — сила тяжести днища в Мн (кгс);

$V_{д}$ — емкость днища в м³ (см³);

$D_{н}$ и $D_{в}$ — соответственно наружный и внутренний диаметры цилиндрической обечайки корпуса в м (см);

ρ и ρ_c — соответственно плотность материала корпуса и среды в аппарате в кг/м³ $\frac{кгс \cdot сек^2}{см^4}$.

Напряжение на изгиб в корпусе от силы тяжести определяется по формуле (15.53), где момент сопротивления поперечного сечения корпуса W в м³ (см³) при $s - C_{к} < 0,1D_{н}$ равен

$$W \approx 0,8D_{\phi}^2(s - C_{к}). \quad (29.14)$$

Величина эквивалентного напряжения в корпусе при внутреннем давлении в аппарате должна отвечать условию (15.54). В случае наличия в аппарате наружного давления толщина стенки корпуса должна быть проверена на устойчивость по формуле (15.51).

Напряжение на изгиб в стенке корпуса от действия реакции опоры $\sigma_{из}$ в Мн/м² (кгс/см²) необходимо проверить по формуле

$$\sigma_{из} = \frac{0,02PD_{н}}{W} \leq \sigma_{из\phi}. \quad (29.15)$$

где P — реакция опоры в Мн (кгс);

W — момент сопротивления расчетного поперечного сечения элемента стенки аппарата над опорой относительно оси x , проходящей через центр тяжести этого сечения параллельно оси аппарата, в м³ (см³).

Момент сопротивления указанного сечения (рис. 29.11, а) определяется по формуле

$$W = \frac{[b + 8(s - C_{к})](s - C_{к})^2}{6}, \quad (29.16)$$

где b — ширина опоры в м (см).

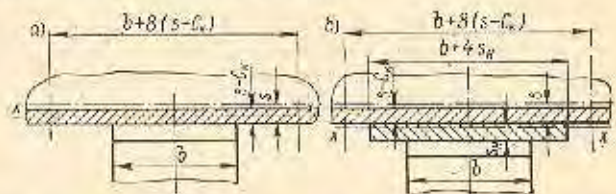


Рис. 29.11. Расчетные сечения стенки горизонтального цилиндрического корпуса в месте опоры при расчете его на прочность и устойчивость от действия реакции опоры: а — сечение неукрепленной стенки; б — сечение стенки, укрепленной накладкой

Если условие (29.15) не выполнено, то в месте опоры на корпусе необходимо предусмотреть накладку. Момент сопротивления сечения, состоящего из элемента стенки и накладки, относительно оси x , проходящей через центр тяжести этого сечения параллельно оси аппарата, должен быть

$$W \geq \frac{0,02PD_{н}}{\sigma_{из\phi}}. \quad (29.17)$$

Толщину накладки s_n рекомендуется принимать: $s_n = s$, если $3\sigma_{из\phi} \geq \sigma_{из} > \sigma_{из\phi}$ и $s_n > s$, если $\sigma_{из} > 4\sigma_{из\phi}$, где $\sigma_{из}$ — по формуле (29.15). Величину s_n определяют подбором исходя из соблюдения условия (29.17).

Расчетный момент сопротивления сложного составного сечения корпуса, усиленного накладкой, W' в м³ или см³ (см. рис. 29.11, б) определяется по формуле

$$W' = \frac{J_c + J_n + F'_c [s_n + 0,5(s - C_{к}) - y]^2 + F'_n (y - 0,5s_n)^2}{y}, \quad (29.18)$$

где F'_c — расчетная площадь поперечного сечения элемента в м² (см²);

F'_n — расчетная площадь поперечного сечения накладки в м² (см²);

J_c — момент инерции площади F'_c относительно оси, проходящей через центр тяжести ее параллельно оси аппарата, в м⁴ (см⁴);

J_n — то же для площади F'_n в м⁴ (см⁴);

y — расстояние от нижней поверхности накладки до оси, проходящей через центр тяжести площади $F'_c + F'_n$ параллельно оси аппарата, в м (см).

В формуле (29.18) величины имеют следующие значения:

$$F'_c = [b + 8(s - C_k)](s - C_k); \quad (29.19)$$

$$F'_n = (b + 4s_n)s_n; \quad (29.20)$$

$$J_c = \frac{F'_c(s - C_k)^2}{12}; \quad (29.21)$$

$$J_n = \frac{F'_n s_n^2}{12}; \quad (29.22)$$

$$\eta = \frac{F'_c[s_n + 0,5(s - C_k)] + 0,5F'_n s_n}{F'_c + F'_n}. \quad (29.23)$$

Накладки толщиной $s_n > 1,6s$ применять не рекомендуется. Поэтому, если указанная толщина накладки не удовлетворяет условию (29.17), в местах опор следует предусмотреть кольца жесткости, которые можно расположить как снаружи, так и внутри корпуса, в зависимости от конструктивных возможностей. Поперечное сечение колец жесткости см. на рис. 15.5.

Расчетный момент инерции J' в m^4 (cm^4) поперечного сечения, состоящего из площади сечения кольца жесткости и площади сечения элемента стенки корпуса, определяют исходя из условия устойчивости корпуса в месте опоры (при запасе на устойчивость $\eta_y = 2,6$):

$$J' \geq \frac{0,108PD_n^2}{E^t \sin \frac{\alpha}{2}}, \quad (29.24)$$

где α — угол обхвата опорой корпуса, град;
 E^t — модуль упругости корпуса при рабочей температуре в Mn/m^2 ($кгс/cm^2$).

Угол α обычно принимается равным 120° . При определении J' площадь расчетного поперечного сечения элемента стенки определяется по формуле (29.19).

При применении опор-лап типов III и IV (рис. 29.9) отношение вылета их к высоте ребра рекомендуется принимать $\frac{l}{h} = 0,5$. Определение толщины ребра производится по формуле (29.1).

Пример 29.2. Проверить прочность и устойчивость корпуса цилиндрического аппарата с эллиптическими днищами, лежащего на трех опорах (рис. 29.10, схема II), от действия силы тяжести по следующим данным. Корпус аппарата: $D_n = 2,02$ м; $D_s = 2,0$ м; $s - C_k = 8$ мм; $C_k = 2$ мм; $L_k = 10,9$ м. Днище: $D_n = 2,0$ м; $h = 0,55$ м; $G_d = 0,0036$ Мн (360 кгс); $V_d = 1,17$ м³.
 Материал корпуса и днища — сталь ($E^t = 2,05 \cdot 10^8$ Мн/м²; $\sigma'_t = 240$ Мн/м²; $\sigma_{нд} = 146$ Мн/м²; $\rho = 7,85 \cdot 10^3$ кг/м³).
 Среда: $\rho = 1,0$ Мн/м²; $\rho_c = 1 \cdot 10^3$ кг/м³. Сила тяжести заполненного средой аппарата $G = 0,35$ Мн (35 000 кгс).

Расчет производим для средней опоры, имеющей наибольшую нагрузку. Реакцию опоры определяем по формуле (29.10):

$$P_n = 0,354G = 0,354 \cdot 0,35 = 0,124 \text{ Мн (12 400 кгс)}.$$

Приведенную длину днища определяем по формуле (29.13):

$$L_d = \frac{G_d + V_d \rho_c}{0,785g[\rho(D_n^2 - D_s^2) + \rho_s D_s^2]} = \frac{0,0036 + 1,17 \cdot 9,81 \cdot 10^3}{0,785 \cdot 9,81 [7,85 \cdot 10^3 (2,02^2 - 2,0^2) + 10^3 \cdot 2,0^2]} = 0,42 \text{ м}.$$

Приведенную длину аппарата определяем по формуле (29.12):

$$L_{np} = L_k + 2L_d = 10,9 + 2 \cdot 0,42 = 11,74 \text{ м}.$$

Расстояние между опорами при $l_1 = 0,145L_{np}$ рис. 29.10):

$$l = 0,5(L_{np} - 2l_1) = 0,5(11,74 - 2 \cdot 0,145 \cdot 11,74) = 4,16 \text{ м}.$$

Расчетный изгибающий момент от силы тяжести определяем по формуле (29.11):

$$M_u = 0,0105G L_{np} = 0,0105 \cdot 0,35 \cdot 11,74 = 0,0432 \text{ Мн} \cdot \text{м (432 000 кгс} \cdot \text{см)}.$$

Напряжение на изгиб в корпусе от силы тяжести определяем по формулам (15.53) и (29.14):

$$\sigma_u = \frac{M_u}{W} = \frac{M_u}{0,8D_n^2(s - C_k)} = \frac{0,0432}{0,8 \cdot 2,0^2 \cdot 0,008} = 1,69 \text{ Мн/м}^2 \text{ (16,9 кгс/см}^2\text{)},$$

т. е. напряжения ничтожно малы. Поэтому на устойчивость корпуса не проверяем.

Выбираем ширину опоры по рис. 29.9 тип I:

$$b = 0,2D_s = 0,2 \cdot 2,0 = 0,4 \text{ м}.$$

Момент сопротивления расчетного сечения стенки корпуса над опорой определяем по формуле (29.16):

$$W = \frac{[b + 8(s - C_k)](s - C_k)^2}{6} = \frac{[0,4 + 8 \cdot 0,008] \cdot 0,008^2}{6} = 4,95 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Напряжение на изгиб в стенке аппарата от действия реакции опоры определяем по формуле (29.15):

$$\sigma_u = \frac{0,02P_n D_n}{W} = \frac{0,02 \cdot 0,124 \cdot 2,02}{4,95 \cdot 10^{-6}} = 1010 \text{ Мн/м}^2.$$

т. е. $\sigma_u > \sigma_{нд} = 146$ Мн/м², следовательно, требуется усилить стенку над опорой накладкой.

Требуемый момент сопротивления усиленного сечения элемента стенки определяем по формуле (29.17):

$$W = \frac{0,02P_n D_n}{\sigma_{нд}} = \frac{0,02 \cdot 0,124 \cdot 2,02}{146} = 34,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Поскольку $4\sigma_{нд} = 4 \cdot 146 = 584$ Мн/м² $< \sigma_u = 1010$ Мн/м², принимаем толщину накладки $s_n = 1,6s = 1,8 \cdot 8 = 16$ мм.

Расчетную площадь поперечного сечения стенки корпуса определяем по формуле (29.19):

$$F'_c = [b + 8(s - C_k)](s - C_k) = (0,4 + 8 \cdot 0,008) \cdot 0,008 = 37 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Расчетную площадь поперечного сечения накладки определяем по формуле (29.20):

$$F'_n = (b + 4s_n)s_n = (0,4 + 4 \cdot 0,016) \cdot 0,016 = 74 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Момент инерции площади F'_c определяем по формуле (29.21):

$$J_c = \frac{F'_c(s - C_k)^2}{12} = \frac{37 \cdot 10^{-4} \cdot 0,008^2}{12} = 1,97 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4.$$

Момент инерции площади F'_n определяем по формуле (29.22):

$$J_n = \frac{F'_n s_n^2}{12} = \frac{74 \cdot 10^{-4} \cdot 0,016^2}{12} = 15,8 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4.$$

Расстояние от нижней поверхности накладки до центра тяжести площади $F'_c + F'_n$ определяем по формуле (29.23):

$$y = \frac{F'_c [s_n + 0,5(s - C_n)] + 0,5F'_n s_n}{F'_c + F'_n} = \frac{37 \cdot 10^{-4} (0,016 + 0,5 \cdot 0,008) + 0,5 \cdot 74 \cdot 10^{-4} \cdot 0,016}{(37 + 74) \cdot 10^{-4}} = 0,012 \text{ м}.$$

Расчетный момент сопротивления усиленного накладкой сечения корпуса определяем по формуле (29.18):

$$W' = \frac{J_c + J_n + F'_c [s_n + 0,5(s - C_n) - y]^2 + F'_n (y - 0,5s_n)^2}{y} = \frac{1,97 \cdot 10^{-8} + 15,8 \cdot 10^{-8} + 37 \cdot 10^{-4} \times (0,016 + 0,5 \cdot 0,008 - 0,012)^2 + 74 \cdot 10^{-4} (0,012 - 0,5 \cdot 0,016)^2}{0,012} = 44,4 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3,$$

т. е. $W' > 34,3 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3$ — значения, определенного выше по формуле (29.15), т. е. прочность обеспечена.

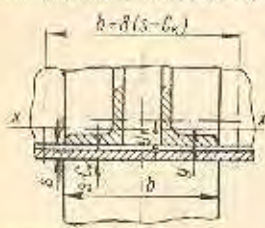


Рис. 29.12. К примеру 29.3

Пример 29.3. Определить для примера 29.2 размеры кольца жесткости, установленного внутри корпуса в местах опор взамен накладок. Конструкция кольца жесткости — по рис. 29.12. Угол обхвата корпуса опорой $\alpha = 120^\circ$.

Расчетный момент инерции составного поперечного сечения определяем по формуле (29.24):

$$J' = \frac{0,108 P_B D_n^2}{E^t \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{0,108 \cdot 0,124 \cdot 2,02^2}{2,05 \cdot 10^9 \sin 60^\circ} = 30,8 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4.$$

Выбираем для кольца равнобокие угольники $45 \times 45 \times 5$ по ГОСТу 8509—57:

$$J_n = 2 \cdot 8,03 \cdot 10^{-8} = 16,06 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4;$$

$$F_n = 2 \cdot 4,29 \cdot 10^{-4} = 8,58 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Из примера 29.2 имеем: $J_c = 1,97 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4$ и $F'_c = 37 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$. Расстояние y определяем из соотношения (см. рис. 29.12)

$$F'_c [y - (s - C_n) 0,5] = F_n (y_1 - y),$$

или

$$y = \frac{0,5F'_c (s - C_n) + F_n y_1}{F'_c + F_n},$$

$$y_1 = s + 13 = 10 + 13 = 23 \text{ мм},$$

тогда

$$y = \frac{0,5 \cdot 37 \cdot 10^{-4} \cdot 0,008 + 8,58 \cdot 10^{-4} \cdot 0,023}{37 \cdot 10^{-4} + 8,58 \cdot 10^{-4}} = 0,0075 \text{ м}$$

Момент инерции составного сечения

$$J = J_c + J_n + F'_c [y - 0,5(s - C_n)]^2 + F_n (y_1 - y)^2 = 1,97 \cdot 10^{-8} + 16,06 \cdot 10^{-8} + 37 \cdot 10^{-4} (0,0075 - 0,5 \cdot 0,008)^2 + 8,58 \cdot 10^{-4} \times (0,023 - 0,0075)^2 = 42,6 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4,$$

т. е. $J > J' = 30,8 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4$.

29.3. РАСЧЕТ АППАРАТОВ НА ВЕТРОВУЮ НАГРУЗКУ

Расчетом проверяется прочность и устойчивость аппарата, устанавливаемого на открытой площадке при действии на него ветра. В частности, определяются размеры наиболее ответственного узла аппарата — опоры и фундаментных болтов, которыми крепятся опоры к фундаменту.

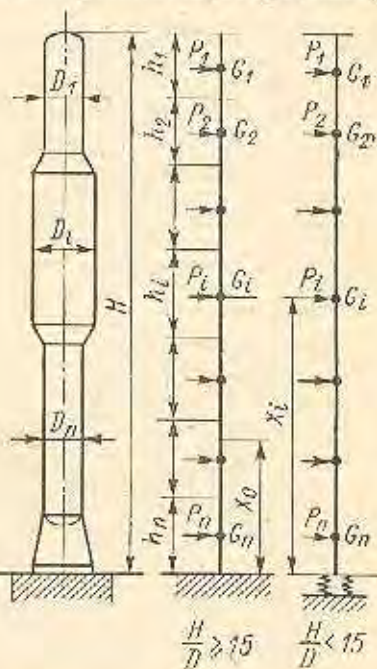


Рис. 29.13. Схема разбивки аппарата на участки при расчете его на ветровую нагрузку

Расчет производится исходя из следующих положений — ОН 26-01-13 — 65

Н 1039 — 65. При отношении высоты аппарата к его диаметру $\frac{H}{D} \geq 15$ расчетная схема аппарата принимается в виде консольного стержня с жесткой заделкой в фундаменте. При отношении $\frac{H}{D} < 15$ — в виде упруго защемленного стержня.

Для аппаратов переменного по высоте сечения в качестве D (в м) принимается

$$D = \frac{2}{H^2} \sum_{i=1}^n D_i h_i \left(\sum_{l=1}^{i-1} h_{l-1} + \frac{h_i}{2} \right), \quad (29.25)$$

где обозначения всех величин см. на рис. 29.13. Если аппарат имеет изоляцию, то диаметром считается диаметр изолированного аппарата.

Аппарат по высоте условно разбивается на участки — произвольно, но не более чем через 10 м. Сила тяжести каждого участка принимается сосредоточенной в середине участка. Ветровая нагрузка, равномерно распределенная по высоте аппарата, заменяется сосредоточенными силами, приложенными в тех же точках, что и сила тяжести участков.

Нормативный скоростной напор ветра q на высоте от поверхности земли до 10 м для разных географических районов СССР различен, он принимается по табл. 29.14.

Таблица 29.14

Нормативный скоростной напор ветра q на высоте от поверхности земли до 10 м для разных географических районов СССР
ОН 26-01-13-65
по Н 1039-65 (см. рис. 29.14)

Географический район СССР	I	II	III	IV	V	VI	VII
$q \cdot 10^3, \text{ Мн/м}^2$ (тс/м^2)	0,027	0,035	0,045	0,055	0,07	0,085	0,1

Для высот более 10 м нормативный скоростной напор принимается с поправочным коэффициентом θ , величина которого определяется по графику на рис. 29.15.

Кроме учета изменения нормативного скоростного напора ветра в зависимости от высоты аппарата при расчете на ветровую нагрузку учитываются также динамическое воздействие на аппарат возможных порывов ветра, колебания аппарата и явления резонанса, возникающего

в том случае, когда при определенных скоростях ветровая частота порывов его совпадает с частотой собственных колебаний аппарата. Для этого при определении расчетной нагрузки от ветра вводится коэффициент увеличения скоростного напора

$$\beta_L = 1 + \epsilon m_L, \quad (29.2)$$

где ϵ — коэффициент динамичности, определяемый по графику на рис. 29.16; при периоде собственных колебаний $T \leq 0,25 \text{ сек}$ $\epsilon = 1$;

m_L — коэффициент пульсации скоростного напора ветра, определяемый по графику на рис. 29.17.

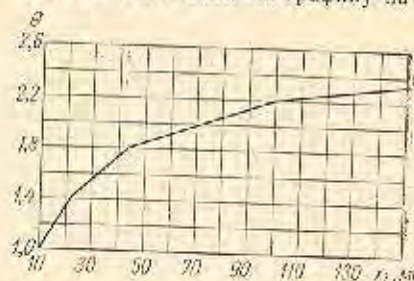


Рис. 29.15. График для определения поправочного коэффициента θ на увеличение скоростного напора ветра для высот более 10 м

Период собственных колебаний аппарата T в сек определяется отдельно для максимальной и минимальной сил тяжести аппарата по формулам:
для аппаратов постоянного сечения



Рис. 29.14. Карта СССР с указанием географических районов для определения скоростных напоров ветра (штриховки цифрами указаны географические районы); — границы географического района; ○ — города; - - - - границы сейсмического района

при $\frac{H}{D} \geq 15$ $T = 1,79H \sqrt{\frac{GH}{E^2 J g}}; \quad (29.27)$

при $\frac{H}{D} < 15$ $T = 1,79H \sqrt{\frac{G}{g} \left(\frac{H}{E^2 J} + 4\varphi_0 \right)}; \quad (29.28)$

для аппаратов переменного сечения

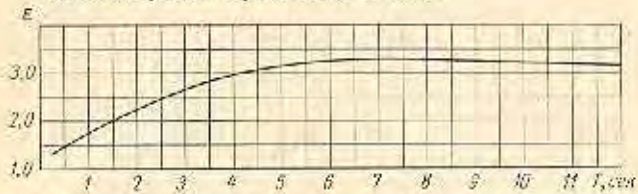


Рис. 29.16. График для определения коэффициента динамичности ε

при $\frac{H}{D} \geq 15$ $T = 4,45 \sqrt{\frac{J \sum_{i=1}^n G_i x_i^4}{J g H E^2}}; \quad (29.29)$

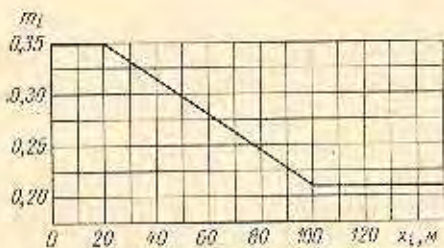


Рис. 29.17. График для определения коэффициента пульсации скорости ветра m_1

при $\frac{H}{D} < 15$ $T = 6,28H \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n G_i K_i^2}{g \left(\frac{H}{3E^2 J} + \varphi_0 \right)}}; \quad (29.30)$

- где H — высота аппарата в м;
 D — диаметр аппарата (без изоляции) в м;
 E^2 — модуль нормальной упругости материала корпуса аппарата при рабочей температуре в $Мн/м^2$ ($тс/м^2$);
 J — момент инерции верхнего поперечного сечения корпуса аппарата относительно центральной оси в $м^4$;
 g — ускорение силы тяжести в $м/сек^2$;
 G — сила тяжести всего аппарата в $Мн$ ($тс$);
 G_i — сила тяжести i -го участка аппарата в $Мн$ ($тс$);
 x_i — расстояние i -го участка до основания аппарата (см. рис. 29.13) в м;
 K_i — относительное перемещение центров тяжести участков в $1/(Мн \cdot м)$ ($1/тс \cdot м$);
 φ_0 — угол поворота опорного сечения в $1/(Мн \cdot м)$ ($1/тс \cdot м$);
 J — коэффициент, определяемый по графикам (см. рис. 29.18 — 29.20) в зависимости от схемы аппарата.

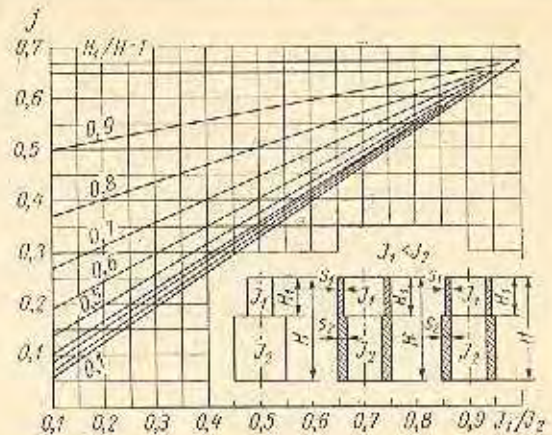


Рис. 29.18. График для определения коэффициента J для первой группы ступенчатых аппаратов

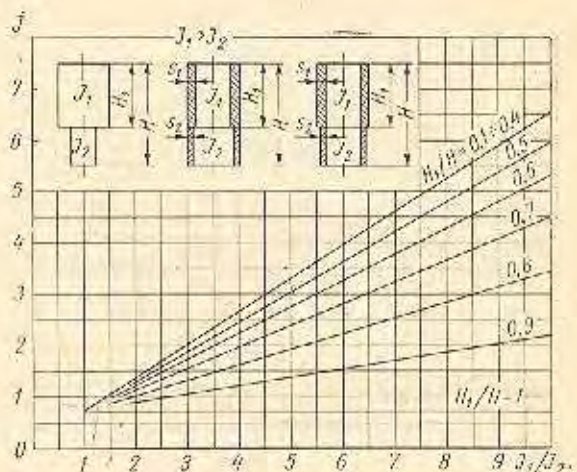


Рис. 29.19. Графики для определения коэффициента J для второй группы ступенчатых аппаратов

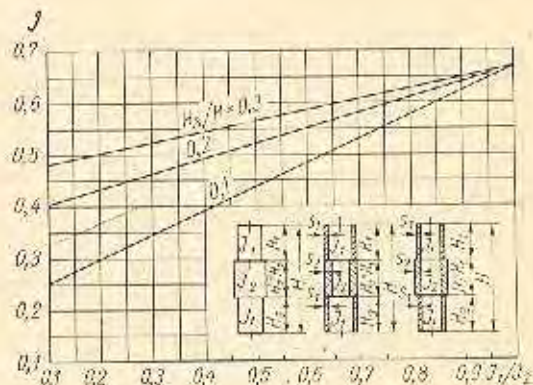


Рис. 29.20. Графики для определения коэффициента J для третьей группы ступенчатых аппаратов

Относительное перемещение центров тяжести участков определяется по формуле

$$K_i = \frac{H}{3E^1 J} A_i + \varphi_0 \alpha_i, \quad (29.31)$$

где A_i — параметр, определяемый по графику на рис. 29.21;

$\alpha_i = \frac{x_i}{H}$ — относительные координаты центров тяжести участков.

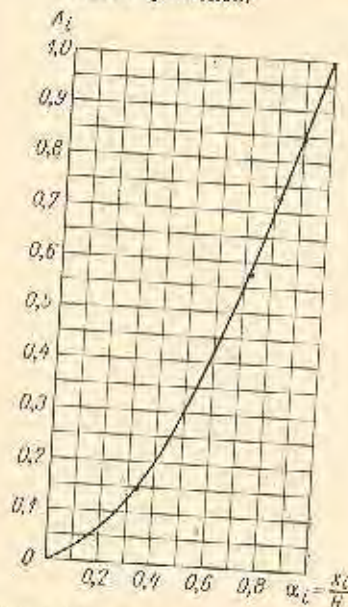


Рис. 29.21. График для определения параметра A_i .

Угол поворота опорного сечения определяется по формуле

$$\varphi_0 = \frac{1}{C_\varphi J_\varphi}, \quad (29.32)$$

где C_φ — коэффициент неравномерного сжатия грунта, определяется по данным инженерной геологии, при отсутствии таких данных для грунтов средней плотности принимается $C_\varphi \approx 50 \text{ Мн/м}^3$;

J_φ — момент инерции подошвы фундамента относительно центральной оси в м^4 . Если точные размеры фундамента неизвестны, то J_φ приближенно принимается равным $J_\varphi = 1,3 J_k$, где J_k — момент инерции сечения фундаментного кольца аппарата.

При установке на одном фундаменте группы аппаратов, жестко связанных между собой в горизонтальном направлении, общий период собственных колебаний таких аппаратов T (в сек) определяется по формуле

$$T = 3,14 \sqrt{\frac{\sum G_i H_i^2}{g C_\varphi J_\varphi}}, \quad (29.33)$$

где G_i — сила тяжести каждого аппарата в Мн (тс);

H_i — высота каждого аппарата в м ;

J_φ — момент инерции подошвы общего фундамента относительно центральной оси в м^4 . Если точные размеры общего фундамента неизвестны,

то J_φ приближенно принимается равным $J_\varphi = 1,7 \sum_{i=1}^n J_{ki}$, где J_{ki} — момент инерции сечения фундаментного кольца i -го аппарата.

Сила P_i в Мн (тс), действующая на i -й участок цилиндрического аппарата от ветровой напора, определяется по формуле

$$P_i = 0,6^* \beta_i q_i D_i h_i, \quad (29.34)$$

где β_i — коэффициент увеличения скоростного напора, определяется по формуле (29.26);

q_i — нормативный скоростной напор ветра в Мн/м^2 (тс/м^2), определяется по табл. 29.14 с учетом поправочного коэффициента θ (см. рис. 29.13);

D_i — наружный диаметр i -го участка аппарата в м при наличии сварки аппарата изоляции; принимается наружный диаметр изоляции;

h_i — высота i -го участка аппарата в м .

Изгибающий момент от ветровой нагрузки относительно основания аппарата $M_{e,0}$ в $\text{Мн}\cdot\text{м}$ ($\text{тс}\cdot\text{м}$) определяется по формуле

$$M_{e,0} = \sum_{i=1}^{n-n_0} P_i x_i, \quad (29.35)$$

где x_i — расстояние i -го участка от основания аппарата в м ;

n_0 — количество участков, расположенных ниже сечения x_0 .

Для аппаратов, оборудованных площадками обслуживания, общий изгибающий момент от ветровой нагрузки $M_{e,0}$ определяется по формуле

$$M_{e,0} = M_e + \sum_{i=1}^n M_{e,ni}, \quad (29.36)$$

где M_e — изгибающий момент без учета обслуживающих площадок в $\text{Мн}\cdot\text{м}$ ($\text{тс}\cdot\text{м}$), определяется по формуле (29.35);

$\sum_{i=1}^n M_{e,ni}$ — суммарный изгибающий момент, учитывающий только наличие площадок в $\text{Мн}\cdot\text{м}$ ($\text{тс}\cdot\text{м}$).

Изгибающий момент от действия ветровой нагрузки на одну площадку, расположенную на высоте x_i от основания аппарата, $M_{e,ni}$ определяется по формуле

$$M_{e,ni} = 1,4 \beta_i q_i x_{ni} \sum_{i=1}^n F_{ni}, \quad (29.37)$$

где $\sum_{i=1}^n F_{ni}$ — сумма проекций всех элементов площадки,

расположенных вне зоны аэродинамической тени, на вертикальную плоскость в м^2 ;

x_{ni} — расстояние от низа i -ой площадки до основания аппарата в м ;

β_i и q_i — см. выше.

После определения изгибающих моментов от ветровой нагрузки производится проверка корпуса аппарата на прочность и устойчивость по соответствующим формулам, приведенным в гл. 15.

Расчет опор типов I—III (см. рис. 29.1) для колонных аппаратов, подверженных ветровой нагрузке, рекомендуется производить в следующей последовательности.

* Для аппаратов коробчатой формы вместо коэффициента 0,6 принимается коэффициент 1,4.

Сначала из конструктивных соображений выбирается толщина цилиндрической (или конической) стенки опоры, которую рекомендуется принимать равной или несколько меньшей толщины стенки корпуса аппарата, но не менее 6–8 мм. Принятую толщину стенки цилиндрической опоры s необходимо проверить на прочность и устойчивость по формулам (15.43)–(15.45). Толщина стенки конической опоры приближенно проверяется по тем же формулам для меньшего диаметра конуса. Проверке подлежат также напряжения в сварном шве, которым крепится опора к корпусу аппарата. Максимальные напряжения в шве от сжатия и изгиба не должны превышать допускаемых.

Затем определяются размеры опорного кольца (см. рис. 29.1, типы I–III):

$$\text{Внутренний диаметр кольца в м (см)} \\ D_1 = D - 0,06 \text{ м (6 см)}; \quad (29.38)$$

$$\text{наружный диаметр кольца в м (см)} \\ D_2 = D + 2s + 0,2 \text{ м (20 см)}; \quad (29.39)$$

$$\text{опорная площадь кольца в м}^2 \text{ (см}^2\text{)} \\ F = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2); \quad (29.40)$$

момент сопротивления опорной площади кольца в м³ (см³)

$$W = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_1^4 - D_2^4}{D_1}; \quad (29.41)$$

Максимальное напряжение сжатия на опорной поверхности опорного кольца в Мн/м² (кгс/см²) определяется по формуле

$$\sigma_{\max} = \frac{G_{\max}}{F} + \frac{M_{e, \sigma \max}}{W} \leq q_{\sigma}, \quad (29.42)$$

где G_{\max} — максимальная сила тяжести аппарата при заполнении его водой (при гидровытеснении) в Мн (кгс);

$M_{e, \sigma \max}$ — общий ветровой момент, соответствующий максимальной силе тяжести аппарата в Мн·м (кгс·см);

q_{σ} — по табл. 29.1.

Если условие (29.42) не обеспечивается, то внутренний диаметр опорного кольца необходимо соответственно уменьшать. При этом внутри опоры целесообразно предусмотреть ребра жесткости аналогично наружным ребрам и опоре типа I.

Номинальная расчетная толщина опорного кольца s_k в м (см) определяется приближенно из условия прочности его на изгиб от реакции опоры по формуле [15]

$$s_k' = 1,73l \sqrt{\frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\text{изг}}}}, \quad (29.43)$$

где l — расстояние от выступающей части кольца до наружного или внутреннего диаметра цилиндрической (или конической) опоры в м (см), берется большая величина;

σ_{\max} — по формуле (29.42);

$\sigma_{\text{изг}}$ — допускаемое напряжение на изгиб для материала кольца в Мн/м² (кгс/см²).

Независимо от расчета s_k должно быть не менее 12 мм.

После определения размеров опоры производится расчет устойчивости аппарата против опрокидывания от ветровой нагрузки. Для этого определяются наименьшие

напряжения на опорной поверхности кольца σ в Мн/м² (кгс/см²) при максимальной и минимальной силах тяжести аппарата по формулам:

$$\sigma = \frac{G_{\max}}{F} - \frac{M_{e, \sigma \max}}{W}; \quad (29.44)$$

$$\sigma = \frac{G_{\min}}{F} - \frac{M_{e, \sigma \min}}{W}; \quad (29.45)$$

за расчетное принимается большее по абсолютной величине значение.

Если расчетное значение окажется $\sigma \geq 0$, то следует определить коэффициент устойчивости аппарата по формуле [15]

$$K_y = 0,42 \frac{GD_1}{M_{e, \sigma}}, \quad (29.46)$$

где G и $M_{e, \sigma}$ должны соответствовать расчетному значению σ . Если $K_y > 1,5$, то аппарат считается устойчивым, и фундаментные болты ставить не обязательно. В этом случае на опоре для правильной установки аппарата рекомендуется предусматривать четыре болта М24.

В тех случаях, когда расчетное значение $\sigma < 0$, аппарат неустойчив, и необходима установка фундаментных болтов для предотвращения опрокидывания его.

Общая условная расчетная нагрузка на фундаментные болты в Мн (кгс) приближенно определяется по формуле

$$P'_b = 0,785 (D_1^2 - D_2^2) \sigma. \quad (29.47)$$

Количество фундаментных болтов z выбирается из конструктивных соображений в зависимости от диаметра опоры, величины P'_b и σ_b для материала болтов, но не менее четырех.

Нагрузка на один болт определяется по формуле

$$P'_{b1} = \frac{P'_b}{z}. \quad (29.48)$$

Расчетный внутренний диаметр резьбы болта в м (см) определяется по формуле

$$d_1' = \sqrt{\frac{4P'_{b1}}{\pi\sigma_b}} + C_k, \quad (29.49)$$

где C_k — прибавка на коррозию, обычно принимается 2 мм.

Окончательный диаметр болтов d_b принимается ближайшим большим по табл. 21.1, но не менее М24.

Диаметр болтовой окружности D_b в м (см) принимается:

$$\text{при } d_b \leq 30 \text{ мм } D_b \approx D + 2s + 0,12 \text{ м}; \quad (29.50)$$

$$\text{при } d_b > 30 \text{ мм } D_b \approx D + 2s + 4d_b. \quad (29.51)$$

В последнем случае принятый ранее наружный диаметр опорного кольца следует увеличить до

$$D_1 = D_b + 3d_b. \quad (29.52)$$

Пересчет опорного кольца при этом можно не производить.

Пример 29.4. Определить ветровой изгибающий момент для отдельно стоящего на открытой площадке цилиндрического аппарата (рис. 29.22) и рассчитать для него опору типа I (см. рис. 29.1) по следующим данным.

Место установки аппарата — II географический район СССР.

Материал аппарата — низколегированная сталь ($E = 2 \cdot 10^8 \text{ Мн/м}^2$, $\sigma_{\text{ад}} = 160 \text{ Мн/м}^2$).
 Сила тяжести: аппарата — $G = 0,26 \text{ Мн}$ (26 тс); обслуживающих площадок — $G_{\text{л}} = 0,02 \text{ Мн}$ (2 тс); изоляции — $G_{\text{и}} = 0,06 \text{ Мн}$ (6 тс); жидкости — $G_{\text{ж}} = 0,04 \text{ Мн}$ (4 тс); воды в аппарате при гидротестировании — $G_{\text{в}} = 0,43 \text{ Мн}$ (43 тс).
 Внутренние диаметры аппарата: верхней части — $D_{\text{в}} = 1,0 \text{ м}$; нижней части — $D_{\text{н}} = 1,6 \text{ м}$.
 Толщина стенок корпуса: верхней части — $s = 16 \text{ мм}$, нижней части — $s_1 = 22 \text{ мм}$.
 Прибавка на коррозию к толщинам стенок $C_{\text{к}} = 1 \text{ мм}$.
 Наружные диаметры изолированного аппарата: верхней части — $D_{\text{и}} = 1,5 \text{ м}$; нижней части — $D_{\text{и}1} = 2,0 \text{ м}$.

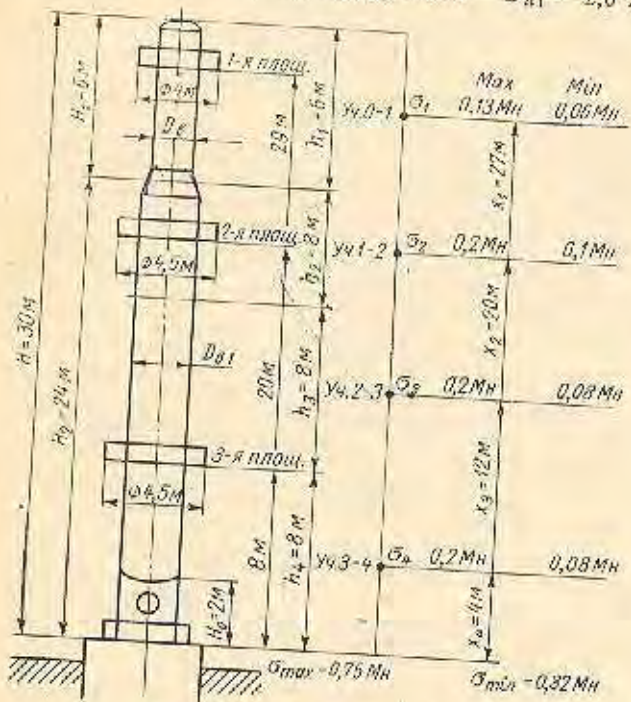


Рис. 29.22. К примеру 29.4

Ветровая площадь (с учетом заполнения): верхней площадки — $F_{\text{л}} = 3 \text{ м}^2$, каждой из нижних площадок — $F_{\text{н}1} = 3,5 \text{ м}^2$.
 Внутренний диаметр цилиндрической опоры $D = 1,6 \text{ м}$. В опоре имеется лаз $d = 0,5 \text{ м}$.
 Материал фундаментных болтов — сталь с $\sigma_{\text{в}} = 230 \text{ Мн/м}^2$.
 Расчетный диаметр аппарата определяем по формуле (29.25) —

$$D = \frac{2}{H^3} \left[D_{\text{и}} H_1 \left(\frac{H_1}{2} \right) + D_{\text{и}1} H_2 \left(H_1 + \frac{H_2}{2} \right) \right] =$$

$$= \frac{2}{30^3} \left[1,5 \cdot 6,0 \cdot \frac{6,0}{2} + 2,0 \cdot 24,0 \left(6,0 + \frac{24,0}{2} \right) \right] =$$

$$= 1,98 \text{ м.}$$

Отношение высоты аппарата к его расчетному диаметру $\frac{H}{D} = \frac{30}{1,98} = 15,1 > 15$, и поэтому расчетная схема аппарата выбирается в виде консольного стержня с жесткой заделкой в фундаменте.

Определим период собственных колебаний аппарата. Расчет производим отдельно для максимальной и минимальной сил тяжести аппарата.
 Средние диаметры корпуса аппарата: верхней части

$$D_{\text{ср}} = D_{\text{и}} + (s - C_{\text{к}}) = 1,0 + (0,016 - 0,001) = 1,015 \text{ м;}$$

нижней части

$$D_{\text{ср}1} = D_{\text{и}1} + (s_1 - C_{\text{к}}) = 1,6 + (0,022 - 0,001) = 1,621 \text{ м.}$$

Моменты инерции поперечных сечений корпуса: верхней части

$$J = \frac{\pi}{8} D_{\text{ср}}^4 (s - C_{\text{к}}) = \frac{\pi}{8} 1,015^3 \cdot 0,015 = 0,00615 \text{ м}^4;$$

нижней части

$$J_1 = \frac{\pi}{8} D_{\text{ср}1}^4 (s_1 - C_{\text{к}}) = \frac{\pi}{8} 1,621^3 \cdot 0,021 = 0,0352 \text{ м}^4.$$

Коэффициент j для аппарата определяем по графику на рис. 29.18: для $\frac{J}{J_1} = \frac{0,00615}{0,0352} = 0,175$ и $\frac{H_1}{H} = \frac{6}{30} = 0,2$ будет $j = 0,12$.

Период собственных колебаний аппарата определяем по формуле (29.29)

$$T = 4,45 \sqrt{\frac{j(G_1 x_1^4 + G_2 x_2^4 + G_3 x_3^4 + G_4 x_4^4)}{j g H E^4}}$$

для максимальной силы тяжести аппарата

$$T = 4,45 \sqrt{\frac{0,12(0,13 \cdot 27^4 + 0,22 \cdot 20^4 + 0,2 \cdot 12^4 + 0,2 \cdot 4^4)}{0,00615 \cdot 9,81 \cdot 30 \cdot 2 \cdot 10^8}} = 0,825 \text{ сек;}$$

для минимальной силы тяжести аппарата

$$T = 4,45 \sqrt{\frac{0,12(0,06 \cdot 27^4 + 0,1 \cdot 20^4 + 0,08 \cdot 12^4 + 0,08 \cdot 4^4)}{0,00615 \cdot 9,81 \cdot 30 \cdot 2 \cdot 10^8}} = 0,57 \text{ сек.}$$

Нормативный скоростной напор для II географического пояса СССР согласно табл. 29.14 равен $q = 0,035 \times 10^{-2} \text{ Мн/м}^2$ (0,035 тс/м²).

Поправочный коэффициент к нормативному скоростному напору для участков аппарата высотой $H > 10 \text{ м}$ определяем по графику на рис. 29.15: $\theta = 1,55$.
 Расчетный скоростной напор по участкам:

$$q_1 = q_2 = q_3 = \theta q = 1,55 \cdot 0,035 \cdot 10^{-2} = 0,0542 \cdot 10^{-2} \text{ Мн/м}^2 \text{ (0,0542 тс/м}^2\text{);}$$

$$q_4 = q = 0,035 \cdot 10^{-2} \text{ Мн/м}^2 \text{ (0,035 тс/м}^2\text{).}$$

Коэффициент динамичности определяем по графику на рис. 29.16: для $T = 0,825 \text{ сек}$ — $\varepsilon = 1,75$; для $T = 0,57 \text{ сек}$ — $\varepsilon = 1,5$.

Коэффициент пульсации скоростного напора определяем по графику на рис. 29.17: для участка 1 — $m_1 = 0,34$; для участков 2—4 — $m_2 = m_3 = m_4 = 0,35$.

Коэффициент увеличения скоростного напора определяем по формуле (29.26):

$$\beta_i = 1 + \epsilon m_i.$$

При максимальной силе тяжести аппарата: для участка 1

$$\beta_1 = 1 + 1,75 \cdot 0,34 = 1,595;$$

для участков 2-4

$$\beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = 1 + 1,75 \cdot 0,35 = 1,613;$$

при минимальной силе тяжести аппарата: для участка 1

$$\beta_1 = 1 + 1,5 \cdot 0,34 = 1,51;$$

для участков 2-4

$$\beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = 1 + 1,5 \cdot 0,35 = 1,52.$$

Силу от ветровой нагрузки, действующую на каждый из участков аппарата, определяем по формуле (29.34):

$$P_i = 0,6 \beta_i q_i D_i h_i.$$

При максимальной силе тяжести аппарата

$$P_1 = 0,6 \cdot 1,595 \cdot 0,0542 \cdot 10^{-2} \cdot 1,5 \cdot 6 = 0,466 \cdot 10^{-2} \text{ Мн (0,466 тс)};$$

$$P_2 = P_3 = 0,6 \cdot 1,613 \cdot 0,0542 \cdot 10^{-2} \cdot 2,0 \cdot 8 = 0,84 \cdot 10^{-2} \text{ Мн (0,84 тс)};$$

$$P_4 = 0,6 \cdot 1,613 \cdot 0,035 \cdot 10^{-2} \cdot 2,0 \cdot 8 = 0,54 \cdot 10^{-2} \text{ Мн (0,54 тс)};$$

при минимальной силе тяжести аппарата

$$P_1 = 0,6 \cdot 1,51 \cdot 0,0542 \cdot 10^{-2} \cdot 1,5 \cdot 6 = 0,441 \cdot 10^{-2} \text{ Мн (0,441 тс)};$$

$$P_2 = P_3 = 0,6 \cdot 1,52 \cdot 0,0542 \cdot 10^{-2} \cdot 2,0 \cdot 8 = 0,79 \cdot 10^{-2} \text{ Мн (0,79 тс)};$$

$$P_4 = 0,6 \cdot 1,52 \cdot 0,035 \cdot 10^{-2} \cdot 2,0 \cdot 8 = 0,51 \cdot 10^{-2} \text{ Мн (0,51 тс)}.$$

Изгибающий момент от ветровой нагрузки на аппарат относительно основания его (без учета площадок) определяем по формуле (29.35):

$$M_{\sigma} = \sum_{i=1}^{n-n_0} P_i (x_i - x_0).$$

При максимальной силе тяжести аппарата

$$M_{\sigma 1} = 0,466 \cdot 10^{-2} \cdot 27 = 12,6 \cdot 10^{-2} \text{ Мн} \cdot \text{м (12,6 тс} \cdot \text{м)};$$

$$M_{\sigma 2} = 0,84 \cdot 10^{-2} \cdot 20 = 16,8 \cdot 10^{-2} \text{ Мн} \cdot \text{м (16,8 тс} \cdot \text{м)};$$

$$M_{\sigma 3} = 0,84 \cdot 10^{-2} \cdot 12 = 10,1 \cdot 10^{-2} \text{ Мн} \cdot \text{м (10,1 тс} \cdot \text{м)};$$

$$M_{\sigma 4} = 0,54 \cdot 10^{-2} \cdot 4 = 2,16 \cdot 10^{-2} \text{ Мн} \cdot \text{м (2,16 тс} \cdot \text{м)};$$

$$\sum M_{\sigma} = 41,66 \cdot 10^{-2} \text{ Мн} \cdot \text{м (41,66 тс} \cdot \text{м)};$$

при минимальной силе тяжести аппарата

$$M_{\sigma 1} = 0,441 \cdot 10^{-2} \cdot 27 = 11,9 \cdot 10^{-2} \text{ Мн} \cdot \text{м (11,9 тс} \cdot \text{м)};$$

$$M_{\sigma 2} = 0,79 \cdot 10^{-2} \cdot 20 = 15,8 \cdot 10^{-2} \text{ Мн} \cdot \text{м (15,8 тс} \cdot \text{м)};$$

$$M_{\sigma 3} = 0,79 \cdot 10^{-2} \cdot 12 = 9,48 \cdot 10^{-2} \text{ Мн} \cdot \text{м (9,48 тс} \cdot \text{м)};$$

$$M_{\sigma 4} = 0,51 \cdot 10^{-2} \cdot 4 = 2,04 \cdot 10^{-2} \text{ Мн} \cdot \text{м (2,04 тс} \cdot \text{м)};$$

$$\sum M_{\sigma} = 39,22 \cdot 10^{-2} \text{ Мн} \cdot \text{м (39,22 тс} \cdot \text{м)}.$$

Изгибающий момент от ветровой нагрузки на площадке относительно основания аппарата определяем по формуле (29.37):

$$M_{\sigma, ni} = \sum_{i=1}^n 1,4 \beta_i q_i v_{ni} \sum_{i=1}^n F_{ni}.$$

При максимальной силе тяжести аппарата

$$M_{\sigma, n1} = 1,4 \cdot 1,595 \cdot 0,0542 \cdot 10^{-2} \cdot 29,3 = 10,5 \cdot 10^{-2} \text{ Мн} \cdot \text{м (10,5 тс} \cdot \text{м)};$$

$$M_{\sigma, n2} = 1,4 \cdot 1,613 \cdot 0,0542 \cdot 10^{-2} \cdot 20 \cdot 3,5 = 8,55 \cdot 10^{-2} \text{ Мн} \cdot \text{м (8,55 тс} \cdot \text{м)};$$

$$M_{\sigma, n3} = 1,4 \cdot 1,613 \cdot 0,035 \cdot 10^{-2} \cdot 8 \cdot 3,5 = 2,21 \cdot 10^{-2} \text{ Мн} \cdot \text{м (2,21 тс} \cdot \text{м)};$$

$$\sum M_{\sigma, n} = 21,26 \cdot 10^{-2} \text{ Мн} \cdot \text{м (21,26 тс} \cdot \text{м)};$$

при минимальной силе тяжести аппарата

$$M_{\sigma, n1} = 1,4 \cdot 1,51 \cdot 0,0542 \cdot 10^{-2} \cdot 29,3 = 10,0 \cdot 10^{-2} \text{ Мн} \cdot \text{м (10,0 тс} \cdot \text{м)};$$

$$M_{\sigma, n2} = 1,4 \cdot 1,52 \cdot 0,0542 \cdot 10^{-2} \cdot 20 \cdot 3,5 = 8,05 \cdot 10^{-2} \text{ Мн} \cdot \text{м (8,05 тс} \cdot \text{м)};$$

$$M_{\sigma, n3} = 1,4 \cdot 1,52 \cdot 0,035 \cdot 10^{-2} \cdot 8 \cdot 3,5 = 2,08 \cdot 10^{-2} \text{ Мн} \cdot \text{м (2,08 тс} \cdot \text{м)};$$

$$\sum M_{\sigma, n} = 20,13 \cdot 10^{-2} \text{ Мн} \cdot \text{м (20,13 тс} \cdot \text{м)}.$$

Общий изгибающий момент от ветровой нагрузки определяется по формуле (29.36):

$$M_{\sigma, \sigma} = \sum M_{\sigma} + \sum M_{\sigma, ni}.$$

При максимальной силе тяжести аппарата

$$M_{\sigma, \sigma} = (41,66 + 21,26) \cdot 10^{-2} = 62,92 \cdot 10^{-2} \text{ Мн} \cdot \text{м (62,92 тс} \cdot \text{м)};$$

при минимальной силе тяжести аппарата

$$M_{\sigma, \sigma} = (39,22 + 20,13) \cdot 10^{-2} = 59,35 \cdot 10^{-2} \text{ Мн} \cdot \text{м (59,35 тс} \cdot \text{м)}.$$

Произведем расчет опоры аппарата.

Принимаем толщину цилиндрической стенки опоры $s = 16 \text{ мм}$. Напряжение сжатия в этой стенке с учетом наличия в ней отверстия для лаза $d = 0,5 \text{ м}$ при максимальной нагрузке от силы тяжести аппарата определяем по формуле (15.52):

$$\sigma_c = \frac{G_{\max}}{[\pi(D+s) - d](s - C_x)} = \frac{0,75}{[\pi(1,6 + 0,016) - 0,5](0,016 - 0,001)} = 10,9 \text{ Мн/м}^2 \text{ (109 кгс/см}^2\text{)}.$$

Напряжение на изгиб в той же стенке при тех же условиях определяем по формуле (15.53):

$$\sigma_u = \frac{4M_{\sigma, \sigma}}{\pi(D+s)^2(s - C_x)} = \frac{4 \cdot 0,6332}{\pi(1,6 + 0,016)^2(0,016 - 0,001)} = 20,6 \text{ Мн/м}^2 \text{ (206 кгс/см}^2\text{)}.$$

Отношение

$$\frac{D}{2(s - C_k)} = \frac{1,6}{2(0,016 - 0,001)} = 53,3.$$

Для данного отношения определим коэффициенты k_c и k_u по графикам на рис. 15.8: $k_c = 0,052$; $k_u = 0,054$. Коэффициент K_c определяем по формуле (15.38):

$$K_c = 875 \frac{\sigma_T}{E^2} k_c = 875 \frac{330}{2 \cdot 10^5} 0,052 = 0,0523.$$

Коэффициент K_u определяем по формуле (15.47):

$$K_u = 875 \frac{\sigma_T}{E^2} k_u = 875 \frac{330}{2 \cdot 10^5} 0,054 = 0,0543.$$

Допускаемое напряжение на сжатие в обечайке опоры определяем по формуле (15.35):

$$\sigma_{сж} = K_c E^2 \frac{s - C_k}{D} = 0,0523 \cdot 2 \cdot 10^5 \frac{0,016 - 0,001}{1,6} = 98 \text{ Мн/м}^2 \text{ (980 кгс/см}^2\text{)}.$$

Допускаемое напряжение на изгиб в обечайке опоры определяем по формуле (15.44):

$$\sigma_{из} = K_u E^2 \frac{s - C_k}{D} = 0,0543 \cdot 2 \cdot 10^5 \frac{0,016 - 0,001}{1,6} = 102 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1020 кгс/см}^2\text{)}.$$

Условие устойчивости цилиндрической опоры (при $R_k = 0$) проверяем по формуле (15.51):

$$\frac{\sigma_c}{\sigma_{сж}} + \frac{\sigma_u}{\sigma_{из}} = \frac{0,9}{98} + \frac{20,6}{102} = 0,111 + 0,202 = 0,313 < 1,$$

т. е. устойчивость обеспечена.

Максимальные напряжения на сжатие в сварном шве, соединяющем цилиндрическую опору с корпусом аппарата, при коэффициенте сварного шва $\varphi_{ш} = 0,7$ определяем по формуле

$$\begin{aligned} \sigma_{ш} &= \frac{G_{\max}}{\varphi_{ш} F} + \frac{M_{с. о. \max}}{\varphi_{ш} W} = \\ &= \frac{G_{\max}}{\varphi_{ш} (D + s)(s - C_k)} + \frac{4M_{с. о. \max}}{\varphi_{ш} (D + s)^2 (s - C_k)} = \\ &= \frac{0,75}{0,7\pi (1,6 + 0,016)(0,016 - 0,001)} + \\ &+ \frac{4 \cdot 0,6332}{0,7\pi (1,6 + 0,016)^2 (0,016 - 0,001)} = \\ &= 14 + 29,3 = 43,3 \text{ Мн/м}^2 < \sigma_{сж} = \\ &= 160 \text{ Мн/м}^2 \text{ (1600 кгс/см}^2\text{)}. \end{aligned}$$

Внутренний диаметр опорного кольца определяем по формуле (29.38):

$$D_{в} = D - 0,06 - 1,6 - 0,06 = 1,54 \text{ м.}$$

Наружный диаметр опорного кольца определяем по формуле (29.39):

$$D_1 = D + 2s + 0,2 = 1,6 + 2 \cdot 0,016 + 0,2 = 1,832 \text{ м.}$$

Опорную площадь кольца определяем по формуле (29.40):

$$F = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) = \frac{\pi}{4} (1,832^2 - 1,54^2) = 0,77 \text{ м}^2.$$

Момент сопротивления опорной площади кольца определяем по формуле (29.41):

$$W = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_1^4 - D_2^4}{D_1} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{1,832^4 - 1,54^4}{1,832} = 0,304 \text{ м}^3.$$

Максимальное напряжение сжатия на опорной поверхности кольца определяем по формуле (29.42):

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= \frac{G_{\max}}{F} + \frac{M_{с. о. \max}}{W} = \\ &= \frac{0,75}{0,77} + \frac{0,6332}{0,304} = 0,975 + 2,08 = \\ &= 3,055 \text{ Мн/м}^2 < 10 \text{ Мн/м}^2. \end{aligned}$$

Номинальная расчетная толщина опорного кольца при $l = 0,1$ м определяем по формуле (29.43):

$$\begin{aligned} \delta'_k &= 1,73l \sqrt{\frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{из}}} = 1,73 \cdot 0,1 \sqrt{\frac{3,055}{160}} = \\ &= 23,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 23,9 \text{ мм.} \end{aligned}$$

с учетом прибавки на коррозию принимаем, округляя размер, $\delta_k = 30$ мм.

Наименьшие напряжения на опорной поверхности кольца при максимальной силе тяжести аппарата по формуле (29.44)

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{G_{\max}}{F} - \frac{M_{с. о. \max}}{W} = \frac{0,75}{0,77} - \frac{0,6332}{0,304} = \\ &= -1,105 \text{ Мн/м}^2 \text{ (-11,05 кгс/см}^2\text{)}; \end{aligned}$$

при минимальной силе тяжести аппарата по формуле (29.45)

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{G_{\min}}{F} - \frac{M_{с. о. \min}}{W} = \frac{0,32}{0,77} - \frac{0,5935}{0,304} = \\ &= -1,534 \text{ Мн/м}^2 \text{ (-15,34 кгс/см}^2\text{)}. \end{aligned}$$

Расчетным является большее по абсолютной величине значение σ — при минимальной силе тяжести аппарата, а знак минус показывает на необходимость установки фундаментных болтов.

Общую условную расчетную нагрузку на фундаментные болты определяем по формуле (29.47):

$$\begin{aligned} P'_b &= 0,785 (D_1^2 - D_2^2) \sigma = \\ &= 0,785 (1,832^2 - 1,54^2) 1,534 = 1,19 \text{ Мн (119 тс)}. \end{aligned}$$

Принимаем количество фундаментных болтов $z = 12$. Нагрузку на один болт определяем по формуле (29.48):

$$P'_{b1} = \frac{P'_b}{z} = \frac{1,19}{12} = 0,0995 \text{ Мн (9,95 тс)}.$$

Расчетный внутренний диаметр резьбы болтов определяем по формуле (29.49):

$$\begin{aligned} d'_1 &= \sqrt{\frac{4P'_{b1}}{\pi \sigma_b}} + C_k = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0995}{\pi \cdot 230}} + \\ &+ 0,002 = 0,0255 \text{ м} = 25,5 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Принимаем болты М30 ($d_1 = 25,4$ мм).

Диаметр болтовой окружности определяем по формуле (29.50):

$$D_b = D + 2s + 0,12 = 1,6 + 2 \cdot 0,016 + 0,12 = 1,752 \text{ м.}$$

Принимаем $D_b = 1750 \text{ мм.}$

29.4 РАСЧЕТ АППАРАТОВ НА СЕЙСМИЧЕСКУЮ НАГРУЗКУ

В тех случаях, когда вертикальный аппарат устанавливается в географическом районе, подверженном землетрясениям, имеется опасность потери устойчивости его и падения. Сила землетрясения оценивается в баллах. Для различных категорий сооружений в зависимости от их особенностей установлена расчетная сейсмичность в 9 баллов. Как правило, сооружения для районов с сейсмичностью до 6 баллов включительно проектируют без учета сейсмичности.

Аппараты, проектируемые для районов с сейсмичностью более 6 баллов, необходимо рассчитывать на действие сейсмических сил.

Расчет на сейсмичность производят исходя из следующих положений ОН 26-01-13-65 Н 1039-65. Выбор расчетной схемы в зависимости от отношения высоты аппарата к его диаметру, а также условная разбивка аппарата на участки производятся аналогично расчету на ветровую нагрузку (см. выше). Сила тяжести каждого участка принимается сосредоточенной в середине участка, а сейсмические силы прикладываются горизонтально в тех же точках.

Величина сейсмической силы в середине i -го участка аппарата P_i в $M\kappa$ ($m\kappa$) определяется:

при $\frac{H}{D} \geq 15$ по формуле

$$P_i = K_c \beta G_i x_i^2 \frac{\sum_{i=1}^n G_i x_i^2}{\sum_{i=1}^n G_i x_i^4}; \quad (29.53)$$

при $\frac{H}{D} < 15$ по формуле

$$P_i = K_c \beta G_i K_i \frac{\sum_{i=1}^n G_i K_i}{\sum_{i=1}^n G_i K_i^2}, \quad (29.54)$$

где K_c — сейсмический коэффициент, выбираемый по табл. 29.15;

β — коэффициент динамичности, определяемый по графику на рис. 29.23.

Значения остальных величин см. в расчете аппарата на ветровую нагрузку.

Расчетный изгибающий момент в $M\kappa \cdot м$ ($m\kappa \cdot м$) от сейсмической нагрузки при учете только первой формы колебаний (период собственных колебаний $T < 0,6 \text{ сек}$) в нижнем сечении опоры аппарата определяется по формуле

$$M_c = \sum_{i=1}^n P_i x_i. \quad (29.55)$$

Таблица 29.15

Значения сейсмического коэффициента K_c

(по ОН 26-01-13-65 Н 1039-65)

Расчетная сейсмичность, баллов	7	8	9
K_c	0,025	0,05	0,1

В том же сечении опоры аппарата расчетный изгибающий момент от сейсмической нагрузки с учетом влияния высших форм колебаний (при $T \geq 0,6 \text{ сек}$) равен

$$M_{c1} = 1,25 M_c. \quad (29.56)$$

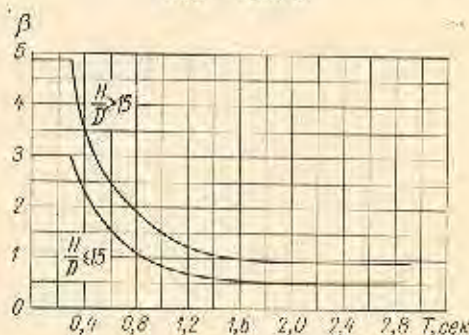


Рис. 29.23. Графики для определения коэффициента динамичности β в формулах (29.53) и (29.54)

Изменение величины изгибающих моментов по высоте аппарата в зависимости от сейсмической нагрузки показано на рис. 29.24.

Следует иметь в виду, что при расчете аппаратов на сейсмическую нагрузку необходимо учитывать также и ветровую нагрузку. Суммарный расчетный изгибающий момент $M_{сум}$, действующий на аппарат от сейсмической и ветровой нагрузок, определяется по формуле

$$M_{сум} = M_c + 0,3 M_e, \quad (29.57)$$

где M_c — расчетный изгибающий момент от сейсмической нагрузки, определяемый по формулам (29.55) или (29.56);

M_e — расчетный изгибающий момент от ветровой нагрузки, определяемый по формулам (29.35) или (29.36).

В случае установки группы аппаратов на одном фундаменте и при

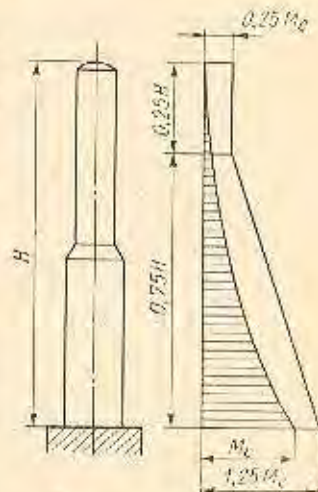


Рис. 29.24. График изменения изгибающих моментов по высоте аппарата в зависимости от сейсмических нагрузок

жесткой связи их между собой в горизонтальном направлении общий для всех аппаратов период собственных колебаний определяется по формуле (29.33).

Дальнейший расчет групповых аппаратов на сейсмическую нагрузку производится как для отдельно стоящих. **Пример 29.5.** Определить изгибающие моменты от сейсмической нагрузки и суммарный расчетный изгибающий момент от сейсмической и ветровой нагрузок для аппарата, рассчитанного в примере 29.4, если расчетная сейсмичность равна 8 баллам.

Из примера 29.4 имеем (для максимальной силы тяжести участков): $G_1 = 0,13 \text{ Мн}$; $G_2 = 0,22 \text{ Мн}$; $G_3 = 0,2 \text{ Мн}$; $G_4 = 0,2 \text{ Мн}$; $x_1 = 27 \text{ м}$; $x_2 = 20 \text{ м}$; $x_3 = 12 \text{ м}$; $x_4 = 4 \text{ м}$; $T = 0,825 \text{ сек}$; $M_{с.в.} = 0,633 \text{ Мн} \cdot \text{м}$.

Предварительно определяем:

$$\sum_{i=1}^n G_i x_i^2 = 0,13 \cdot 27^2 + 0,22 \cdot 20^2 + 0,2 \cdot 12^2 + 0,2 \cdot 4^2 =$$

$$= 215 \text{ Мн} \cdot \text{м}^2 \quad (21\,500 \text{ тс} \cdot \text{м}^2);$$

$$\sum_{i=1}^n G_i x_i^4 = 0,13 \cdot 27^4 + 0,22 \cdot 20^4 + 0,2 \cdot 12^4 + 0,2 \cdot 4^4 =$$

$$= 102\,900 \text{ Мн} \cdot \text{м}^4 \quad (1029 \cdot 10^4 \text{ тс} \cdot \text{м}^4).$$

Сейсмический коэффициент для сейсмичности 8 баллов находим по табл. 29.15: $K_c = 0,05$.

Коэффициент динамичности определяем по графику на рис. 29.23: для $T = 0,825 \text{ сек}$ и $\frac{H}{D} > 15$ $\beta \approx 1,8$.

Величину сейсмической силы в середине каждого участка аппарата определяем по формуле (29.53):

$$P_i = K_c \beta G_i x_i^2 \frac{\sum_{i=1}^n G_i x_i^2}{\sum_{i=1}^n G_i x_i^4};$$

$$P_1 = 0,05 \cdot 1,8 \cdot 0,13 \cdot 27^2 \frac{215}{102\,900} = 0,066 \cdot 10^{-2} \text{ Мн} \quad (0,66 \text{ тс})$$

$$P_2 = 0,05 \cdot 1,8 \cdot 0,22 \cdot 20^2 \frac{215}{102\,900} = 1,65 \cdot 10^{-2} \text{ Мн} \quad (1,651 \text{ тс})$$

$$P_3 = 0,05 \cdot 1,8 \cdot 0,2 \cdot 12^2 \frac{215}{102\,900} =$$

$$= 0,542 \cdot 10^{-2} \text{ Мн} \quad (0,542 \text{ тс});$$

$$P_4 = 0,05 \cdot 1,8 \cdot 0,2 \cdot 4^2 \frac{215}{102\,900} =$$

$$= 0,062 \cdot 10^{-2} \text{ Мн} \quad (0,062 \text{ тс}).$$

Расчетный изгибающий момент в нижнем сечении опоры аппарата от сейсмической нагрузки при учете первой формы колебаний определяем по формуле (29.55)

$$M_c = \sum_{i=1}^n P_i x_i = P_1 x_1 + P_2 x_2 + P_3 x_3 + P_4 x_4 =$$

$$= 0,0066 \cdot 27 + 0,0165 \cdot 20 + 0,00542 \cdot 12 + 0,00062 \cdot 4 =$$

$$= 0,5765 \text{ Мн} \cdot \text{м} \quad (57,65 \text{ тс} \cdot \text{м}).$$

Расчетный изгибающий момент в том же сечении опоры с учетом влияния высших форм колебаний (при $T \geq 0,6 \text{ сек}$) определяем по формуле (29.56):

$$M_{c1} = 1,25 M_c = 1,25 \cdot 0,5765 = 0,72 \text{ Мн} \cdot \text{м} \quad (72 \text{ тс} \cdot \text{м}).$$

Суммарный расчетный изгибающий момент от сейсмической и ветровой нагрузок определяем по формуле (29.57):

$$M_{сум} = M_{c1} + 0,3 M_{с.в.} =$$

$$= 0,72 + 0,3 \cdot 0,633 = 0,91 \text{ Мн} \cdot \text{м} \quad (91 \text{ тс} \cdot \text{м}).$$

Поскольку $M_{сум}$ оказался больше $M_{с.в.}$, опору и фундаментные болты необходимо пересчитать на новый расчетный изгибающий момент $M_{сум}$.

УСТРОЙСТВА ДЛЯ СТРОПОВКИ АППАРАТОВ

Подъем и перемещение химических аппаратов при монтаже и демонтаже, осуществляемые различными подъемно-транспортными средствами, производится с помощью строповки аппаратов канатами, цепями или траверсами.

Для обеспечения надежности и безопасности строповки вертикальных аппаратов на них предусматриваются специальные устройства, за которые аппарат подвешивается к подъемно-транспортному устройству. Подвешивание аппарата за штуцеры или какие-либо другие выступающие части обычно не допускается.

Устройствами для строповки являются крюки, ушки, скобы и цапфы, называемые также монтажными штуцерами. Крюки и цапфы размещаются на боковых стенках, а ушки — на верхних днищах или крышках аппарата. Крюки или цапфы устанавливаются по два на аппарате,

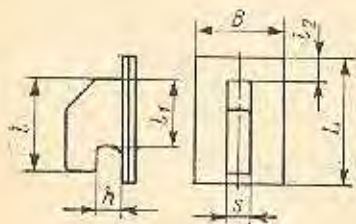
количество ушков может достигать двух-трех, а в отдельных случаях и четырех на одном аппарате.

В табл. 30.1—30.5 приведены основные данные о стандартизованных и нормализованных строповых устройствах для химической аппаратуры, которые и следует применять при конструировании аппаратов в зависимости от требуемой грузоподъемности. Установку строповых устройств на вертикальном аппарате рекомендуется производить возможно выше и обязательно выше центра тяжести аппарата.

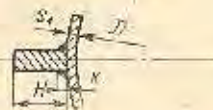
Подъем и перемещение горизонтальных аппаратов осуществляются обычно с помощью строповки их канатами или цепями, непосредственно охватывающими корпус. В отдельных случаях на горизонтальных аппаратах могут быть предусмотрены также ушки, крюки или цапфы.

Таблица 30.1

Крюки сварные стальные, латунные и алюминиевые грузоподъемностью от 0,01 до 0,32 Мн (от 1 до 32 тс) (строповое устройство типа 1 по ГОСТу 13716—68)



Условное обозначение крюка грузоподъемностью 0,02 Мн (2 тс) для аппарата с $D_a = 1000$ мм: «Крюк 1—2—1000 ГОСТ 13716—68».



G [*] 10 ³ , Мн (тс)	D ^{**}	L	l	l ₁	l ₂	B	H	h	s	s ₂	l ₂	Материал		
												С	Л	А
мм												Масса, кг		
1	400—1200	90	70	40	15	50	70	32	12	8	10	0,46	0,49	0,15
2		110	90	55	20	60	92	40	16	10	12	1,04	1,12	0,35
4		150	120	80	25	80	104	47	20	12	14	2,48	2,78	0,84
8	1000—2600	185	150	100	30	100	128	57	30	16	18	5,15	5,57	1,64
16		220	180	125	35	120	132		36	20	20	7,85	8,47	2,67
32	2400—4000	250	210	150		130			40			10,9	11,8	—

Примечания:

1. Условное обозначение материала: С — сталь марок ВМСт3сп или Х18Н9Т; Л — латунь марки ЛЖМц 50-1-1; А — алюминиевый сплав марки АМг6.

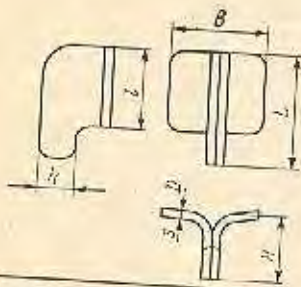
2. Сварка крюков из материала: С — электродуговая; Л — газовая; А — аргоно-дуговая.

3. Допускается применение крюка без пластины, если толщина стенки аппарата, к которой приваривается крюк, не менее s.

* Грузоподъемность крюка.

** Диаметр аппарата D_a или D_k .

Крюки штампованные стальные, латунные и алюминиевые
грузоподъемностью от 0,01 до 0,32 Мн (от 1 до 32 тс)
(строповое устройство типа 2 по ГОСТу 13716-68)



Условное обозначение крюка грузоподъемностью 0,02 Мн (2 тс) для аппарата с $D_a = 1000$ мм: «Крюк 2-2-1000 ГОСТ 13716-68».

$G^*, 10^2$, Мн (тс)	D^{**}	L	l	B	H	k	s	Материал		
								С	Л	А
								Масса, кг		
1	400—1200	70	40	60	60	30	6	0,2	0,22	0,06
2		85	55	98	80	40	8	0,51	0,55	0,17
4		120	80	130	90	45	10	1,1	1,19	0,37
8		150	100	150	110	55	16	2,5	2,7	0,85
16	185	130	170	18			4,1	4,13	1,4	—
32	220	160	190	20			5,7	6,2	—	—

Примечания:

1. Условное обозначение материала: С — сталь марок ВМСт.Зсп или Х18Н9Т; Л — латунь марки ЛЖМц 59-1-1; А — алюминевый сплав марки АМгб.

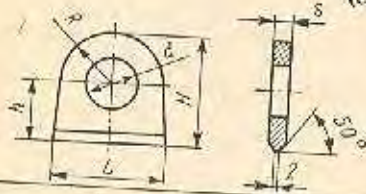
2. Сварка крюков из материалов: С — электродуговая; Л — газовая; А — аргоно-дуговая.

* Грузоподъемность крюка.

** Диаметр аппарата D_a или D_k .

Ушки приварные стальные, латунные и алюминиевые грузоподъемностью от 0,01 до 0,32 Мн
(от 1 до 32 тс)

(строповое устройство типа 3 по ГОСТу 13716-68)



Условное обозначение ушка грузоподъемностью 0,02 Мн (2 тс): «Ушко 3-2 ГОСТ 13716-68».

$G^*, 10^2$, Мн (тс)	L	H	h	d	R	s	Материал				
							С	Л	А		
							Масса, кг				
1	80	80	45	35	36	12	0,51	0,55	0,17		
2	100	100	55	40	45	16	1,09	1,17	0,37		
4	200	160	80	70	80	20	4,4	4,75	1,5		
8	250	210	100	90	100	30	10,8	11,7	3,67		
16	300	230	110				130	36	17,7	19,1	6,02
32	350	295	125				170	40	28,5	30,7	—

Примечания:

1. Условное обозначение материала: С — сталь марок ВМСт.Зсп или Х18Н9Т; Л — латунь марки ЛЖМц 59-1-1; А — алюминевый сплав марки АМгб.

2. Приварка ушков из материалов: С — электродуговая; Л — газовая; А — аргоно-дуговая.

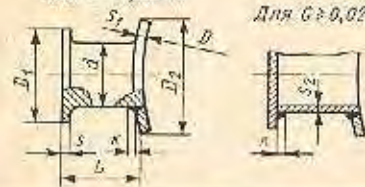
* Грузоподъемность ушка.

Таблица 30.4

Цапы стальные приварные грузоподъемностью от 0,01 до 0,32 Мн (от 1 до 32 тс)
(строповое устройство типа 4 по ГОСТу 13716—68)

Для $G = 0,01 \text{ Мн}$

Для $G \geq 0,02 \text{ Мн}$



Условное обозначение цапы грузоподъемностью 0,02 Мн (2 тс) для аппарата с $D_0 = 1000 \text{ мм}$: «Цапа 4—2—1000 ГОСТ 13716—68».

$G \cdot 10^2$, Мн (тс)	D^{**}	D_1	D_2	d	L	s	s_1	s_2	k	Масса, кг	
											мм
1	400—800	100	110	60	70	6	6	—	4	1,9	
2	600—1000	160	160	89	74		6	6	—	4	2,44
4	800—1200	200	210	108	80		10	12	6	6	5,48
8	1000—1800	230	255	133	90	8	10	12	6	8,2	
16	1600—2600	260	320	159	98		12	16	8	8	13,5
32	2400—4000	320	380	219	108		12	16	8	8	20,1

Примечания:

1. Материал для $G = 0,01 \text{ Мн}$ — сталь марки Х18Н9Т, для $G \geq 0,02 \text{ Мн}$ — сталь марки 20 или Х18Н10Т.
2. Конструкция цапы для $G = 0,01 \text{ Мн}$ — цельная, а для $G \geq 0,02 \text{ Мн}$ — составная из трубы и заглушки.

- * Грузоподъемность цапы.
- ** Диаметр аппарата D_0 или D_H .

На рис. 30.1 показаны схемы подъема аппаратов траверсой и без нее.

При известной силе тяжести аппарата натяжение, возникающее в каждой ветви подвески, определяется по формуле

$$P = \frac{1}{\cos \alpha} \frac{G}{z}, \quad (30.1)$$

где P — натяжение, возникающее в одной ветви подвески в Мн (тс);

G — сила тяжести аппарата в Мн (тс);

z — количество ветвей стропового каната или строповых устройств;

α — угол наклона стропа от вертикали в град, который не должен превышать 45°.

Выбор стропового устройства производится по конструктивным соображениям, причем грузоподъемность должна быть не менее натяжения ветви P , определенного по формуле (30.1).

Присоединение строповых устройств к стенкам в стальных аппаратах осуществляется обычно сваркой, а в медных аппаратах — сваркой или пайкой твердыми приоями. В литых аппаратах строповые устройства чаще всего выполняются за одно целое с корпусом аппарата.

Стенки аппарата в месте присоединения к ним стропового устройства следует проверить расчетом на местную устойчивость аналогично опорным устройствам (см. гл. 29).

В тех случаях, когда местная устойчивость стенки не обеспечивается, между стенкой аппарата и строповым устройством рекомендуется предусматривать соответствующие накладки из листа толщиной, равной толщине стенки аппарата. Накладки рекомендуются прямоугольной формы с размерами, не менее чем в два раза превы-

шающими размеры присоединяемого стропового устройства. Накладки должны надежно привариваться (или припаиваться) как к строповому устройству, так и к стенке аппарата. Местная устойчивость стенки аппарата при наличии накладки должна быть подтверждена расчетом.

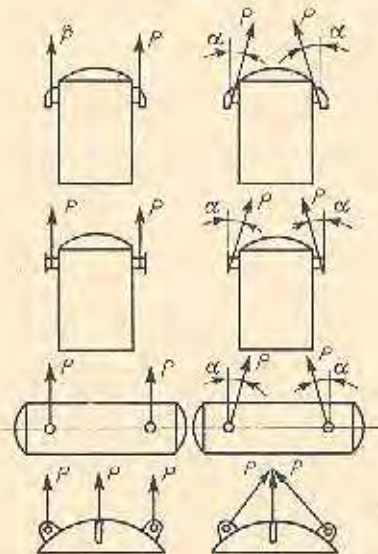


Рис. 30.1. Схемы подъема аппаратов с помощью строповых устройств по ГОСТу 13716—68

ПЕРЕМЕШИВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Перемешивание жидких сред с целью интенсификации многих физико-химических процессов и при приготовлении различных смесей (растворов, суспензий, эмульсий и т. п.) имеет весьма широкое применение в химической и ряде других смежных с ней отраслей промышленности.

Перемешивание в жидкой среде осуществляется различными способами, основными из которых являются механический, пневматический (сжатым газом, чаще всего воздухом) и вибрационный. Наибольшее распространение имеют первые два способа, в которых перемешивание осуществляется с помощью специальных перемешивающих устройств, устанавливаемых в разного рода химических аппаратах (реакторах, смесителях, отстойниках и т. д.).

Перемешивающие устройства характеризуются интенсивностью и эффективностью действия. Первая определяется временем, требуемым для достижения заданного технологического результата, а вторая — затратами энергии для этого. Чем меньше время и расход энергии при этом, тем выше интенсивность и эффективность перемешивающего устройства.

31.1 МЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕМЕШИВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Существует весьма много конструкций механических перемешивающих устройств, общий принцип действия которых заключается в том, что при вращении этих

устройств в перемешиваемой среде последняя приводится в движение, чем и осуществляется перемешивание. Характер движения перемешиваемой среды зависит от ряда факторов, основным из которых является конструкция перемешивающего устройства.


В табл. 31.1 представлены данные об основных типах наиболее употребительных стальных нормализованных механических перемешивающих устройств, их геометрических соотношениях и области применения, а табл. 31.2—31.4 — основные параметры этих устройств, предназначенных для вертикальных цилиндрических аппаратов емкостью от 1 до 50 м³.

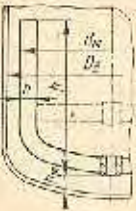
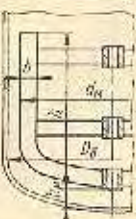
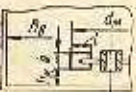
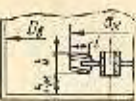
Для сред с плотностью $\rho_c \leq 1,4 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, динамическим коэффициентом вязкости $\mu_c \leq 1,2 \text{ м·сек/м}^2$, температурой $t_c = 0 \div 120^\circ \text{C}$ при маломинутном перемешивании их в вертикальных стальных футерованных аппаратах емкостью 0,016—4 м³, а также в аналогичных аппаратах из винилпласта и фаялита имеются нормализованные перемешивающие устройства: лопастные, якорные, раменные (ОН 12-01-12—65). Геометрические соотношения, конструкция и расчет этих устройств и основном аналогичны предыдущим.

Интенсивность механических перемешивающих устройств определяется их конструкцией и при прочих равных условиях увеличивается при возрастании скорости вращения перемешивающего устройства и его диаметра. Вместе с тем увеличение последнего приводит к значительному возрастанию мощности, расходуемой на перемешивание.

Основные типы механических перемешивающих устройств и области их применения (по МН 5874—66)

Таблица 31.1

Тип	Эскиз	Относительные размеры	Наименование	$\mu_{ср}$ мк·сек/м ²	ω , 1/сек	Область применения
1		$d_m = D_{ст}/(1,4 \div 1,7)$ $b = 0,1 d_m$ $h_m = (0,1 \div 0,3) d_m$	Лопастные	1—500	1,5—5,0	Перемешивание взаиморастворимых жидкостей; грубое эмульгирование; взвешивание твердых частиц в жидкости с массовым содержанием их до 90%; взвешивание волокнистых веществ; взмучивание легкого осадка; медленное растворение кристаллических или аморфных, а также волокнистых веществ; выравнивание температуры; перемешивание в процессах кристаллизации
				500—3000	1,5—3,2	
2		$d_m = D_{ст}/2$ $b = 0,75 d_m$ $h_m = (0,1 \div 0,3) d_m$	Листовые	1—50	0,5—5,0	Растворение жидкостей малой вязкости; взвешивание твердого вещества; растворение кристаллических веществ; интенсификация теплообмена

Тип	Эскиз	Относительные размеры	Наименование	$\mu_{с^*}$ мл·сек/м ²	η^* л/сек	Область применения
3		$d_m = D_n / (1,02 \div 1,15)$ $b = 0,07 d_m$ $h_m = (0,01 \div 0,06) d_m$ $h = (0,9 \div 1,0) d_m$	Якорные	1—10 000	0,5—4,0	Перемешивание вязких и тяжелых жидкостей; интенсификация теплообмена в жидкостях; предотвращение выпадения осадка на стенках; суспендирование в вязких средах
	Якорные с переключной		0,5—5,5			
4			Рамные	10 000—40 000	0,8—7,0	
			0,8—4,0			
5		$d_m = D_n / (3 \div 4)$ $b = 0,2 d_m$ $h_m = (0,5 \div 1,0) d_m$ $D = 0,75 d_m^{***}$ $l = 0,25 d_m$	Турбинные открытые	1—10 000	2,5—10,0	Растворение и эмульгирование жидкостей; взвешивание кристаллических или аморфных твердых частиц с массовым содержанием их до 80%; взвешивание волокнистых частиц с массовым содержанием их до 5%; взмучивание твердых частиц размером до 1,5 мм при массовом содержании их до 60%; выравнивание температур; перемешивание неньютоновских жидкостей
	10 000—40 000			2,5—7,0		
6		$d_m = D_n / (3 \div 4)$ $b = 0,2 d_m$ $h_m = (0,5 \div 1,0) d_m$ $D = 0,75 d_m^{***}$ $l = 0,25 d_m$	Турбинные закрытые	1—10 000	2,5—12,0	Растворение и эмульгирование жидкостей, в том числе жидкостей, существенно различающихся по плотности; взвешивание кристаллических или аморфных твердых частиц с массовым содержанием их до 80%; взвешивание волокнистых частиц с массовым содержанием их до 5%; интенсификация теплообмена; перемешивание в процессах растворения газа в жидкости и в процессах экстракции
	10 000—25 000			2,5—7,5		

Продолжение табл. 31.1

Тип	Эскиз	Относительные размеры	Наименование	$\mu_{сг}$ мг·сек/м ²	$\sigma_{сг}$ л/сек	Область применения
7		$d_0 = D_0 / (3 \div 5)$ $h_M = (2,5 \div 8,0) d_M$ $D_0 = d_M + (10 \div 20) d_M$ $H_1 = 0,75 D_0$ $H_2 = 0,3 D_0$ $H_3 = (1,5 \div 7,2) D_0$	Пропеллерные; пропеллерные с направляющей трубой	1—100	3,8—10,0	Растворение и эмульгирование жидкостей; взвешивание при массовом содержании твердого вещества до 50%; изменение шламов при массовом содержании твердых частиц до 10% (размер частиц до 0,1 мм); перемешивание волокнистых материалов; выравнивание температур; интенсификация теплообмена
				100—4000	3,8—10,0	

Примечания:
 1. Высота уровня жидкости $H_{ж} = D_0$, в аппаратах удлинённой формы $H_{ж} = (0,75 \div 0,8)H$ (H — высота аппарата); ширина отражательных перегородок во всех случаях $B = 0,1 D_0$.
 2. При коническом днище для типа 1: $h_M = (0,6 \div 0,8) d_M$; для типа 2: $h_M = (0,4 \div 0,6) d_M$; для типа 3: $h_M = (0,15 \div 0,3) d_M$ и $h = (0,9 \div 1,2) d_M$; для типов 5 и 7 (открытых): $h_M = (1,0 \div 1,2) d_M$.
 3. При отсутствии теплообмена через стенки для типов 3 и 4 $d_M = D_0 / (1,2 \div 1,5)$ и $h_M = (0,1 \div 0,25) d_M$.

* Окружная скорость.
 ** D — диаметр диска.

Основные параметры лопастных (тип 1) и листовых (тип 2) механических перемешивающих устройств (по МН 5874—66)

Таблица 31.2

$d_M, мм$	Тип	Скорость вращения				Среда		Мощность, кВт		
		$\omega, рад/сек$	$n, сек^{-1}$	$\omega, об/мин$	$\omega, л/сек$	$\mu_{сг}, Мн·сек/м^2$	$\rho_{сг}, кг/л^3$			
500	1	3,3	0,53	31,8	0,88	1	800	0,01		
		5,3	0,84	50,4	1,32	25	1300	0,03		
		6,6	1,05	63,0	1,73	50	1900	0,06		
		5,3	0,84	50,4	1,32			0,23		
		3,3	0,53	31,8	1,1			1	800	0,01
		630	1	5,3	0,84	50,4	1,65	25	1300	0,05
6,6	1,05			63,0	2,06	50	1900	0,16		
5,3	0,84			50,4	1,65			0,7		
3,3	0,53			31,8	1,2			1	800	0,01
700	1			6,6	1,05	63,0	2,3	3000	1300	0,16
				8,4	1,3	78,0	3,2	500	1900	0,30
		3,3	0,53	31,8	1,32	1	800	0,026		
		5,3	0,84	50,4	2,1	25	1300	0,18		
		6,6	1,05	63,0	2,6	50	1900	0,45		
		5,3	0,84	50,4	2,1			2,29		
850	1	8,3	0,53	31,8	1,4	1	800	0,03		
		6,6	1,05	63,0	2,8	3000	1300	0,31		
		8,4	1,3	78,0	3,6	500	1900	0,65		
		3,3	0,53	31,8	1,65	1	800	0,06		
		5,3	0,84	50,4	2,64	25	1300	0,32		
		6,6	1,05	63,0	3,24	50	1900	1,05		
5,3	0,84	50,4	2,64	5,85						
1000	1	2,8	0,42	25,2	1,3	1	800	0,62		
		4,2	0,66	39,6	2,1	3000	1300	0,22		
		6,6	1,05	63,0	3,3	500	1900	0,74		
		3,3	0,53	31,8	2,1	1	800	0,17		
		5,3	0,84	50,4	3,3	25	1300	1,17		
		6,6	1,05	63,0	4,1	50	1900	3,23		
5,3	0,84	50,4	3,3	21,2						

Продолжение табл. 31.2

$d_M, мм$	Тип	Скорость вращения				Среда		Мощность, кВт
		$\omega, рад/сек$	$n, сек^{-1}$	$\omega, об/мин$	$\omega, л/сек$	$\mu_{сг}, Мн·сек/м^2$	$\rho_{сг}, кг/л^3$	
1250	1	2,8	0,42	25,2	1,7	1	800	0,03
		3,3	0,53	31,8	2,1	3000	1300	0,30
		6,6	1,05	63,0	4,1	500	1900	2,3
1500	2	3,3	0,53	31,8	2,5	1	800	0,24
		5,3	0,84	50,4	3,95	25	1300	2,35
		6,6	1,05	63,0	4,95	50	1900	6,7
		5,3	0,84	50,4	3,95			53,2
		2,1	0,33	19,8	1,65			1	800	0,04
1600	1	2,6	0,42	25,2	2,1	3000	1300	0,5
		4,2	0,66	39,6	3,4	500	1900	1,85
		1,7	0,27	16,2	1,6	1	800	0,06
1900	1	2,6	0,42	25,2	2,7	3000	1300	1,08
		4,2	0,66	39,6	4,0	500	1900	3,56
		1,7	0,27	16,2	1,9	1	800	0,07
2240	1	2,6	0,42	25,2	2,9	3000	1300	6,1
		4,2	0,66	39,6	4,6	500	1900	8,62
		1,3	0,21	12,6	1,7	1	800	0,16
2650	1	2,1	0,33	19,8	2,3	3000	1300	2,8
		2,8	0,42	25,2	3,5	500	1900	4,9
						1	800	11,6

Примечания:
 1. Типы перемешивающих устройств см. в табл. 31.1.
 2. Приведенные три первых значения мощности для каждого типа размера перемешивающих устройств относятся к аппаратам без отражательных перегородок и соответствуют легким, средним и тяжелым условиям работы. Четвертое значение мощности для каждого типоразмера является максимальным и относится к аппаратам с отражательными перегородками.

Таблица 31.3

Основные параметры якорных (тип 3) и рамных (тип 4) механических перемагничивающих устройств (по МН 5874-66)

d _ж , мм	Скорость вращения для типов								Среда для типов			Мощность для типов	
	3		4		3		4		3	4	ρ _ж , кг/м ³	3	4
	ω, рад/сек		n		ω, м/сек		μ _с , м·сек/м ²		1	1		N, кет	
	сек ⁻¹	об/мин	сек ⁻¹	об/мин	сек ⁻¹	об/мин	1	1			3	4	
800	2,1	2,1	0,33	19,8	0,33	19,8	0,88	0,88	1	1	800	0,01	0,01
	4,2	6,6	0,66	39,6	1,05	63,0	1,76	2,7	1 000	40 000	1300	0,18	5,86
	6,6	8,4	1,05	63,0	1,3	78,0	4,1	3,41	10 000	10 000	1900	1,8	2,47
950	2,1	2,1	0,33	19,8	0,33	19,8	0,99	0,99	1	1	800	0,01	0,01
	4,2	6,6	0,66	39,6	1,05	63,0	2,1	3,42	1 000	40 000	1300	0,4	12,0
	6,6	8,4	1,05	63,0	1,3	78,0	3,14	4,02	10 000	10 000	1900	2,95	5,61
1060	2,1	2,1	0,33	19,8	0,33	19,8	1,1	1,1	1	1	800	0,01	0,01
	4,2	6,6	0,66	39,6	1,05	63,0	2,2	3,56	1 000	40 000	1300	0,61	17,7
	6,6	8,4	1,05	63,0	1,3	78,0	3,35	4,47	10 000	10 000	1900	3,8	9,22
1120	2,1	2,1	0,33	19,8	0,33	19,8	1,21	1,21	1	1	800	0,01	0,01
	4,2	6,6	0,66	39,6	1,05	63,0	2,46	3,78	1 000	40 000	1300	0,72	21,8
	6,6	8,4	1,05	63,0	1,3	78,0	3,78	4,75	10 000	10 000	1900	5,42	12,2
1250	2,1	2,1	0,33	19,8	0,33	19,8	1,32	1,32	1	1	800	0,026	0,03
	4,2	6,6	0,66	39,6	1,05	63,0	2,7	4,32	1 000	40 000	1300	1,13	32,2
	5,3	8,4	0,84	63,0	1,3	78,0	5,3	5,3	10 000	10 000	1900	4,9	19,8
1320	2,1	2,1	0,33	19,8	0,33	19,8	1,43	1,43	1	1	800	0,04	0,04
	4,2	5,3	0,66	39,6	0,84	30,4	2,93	3,61	1 000	40 000	1300	1,38	25,2
	5,3	6,6	0,84	63,0	1,05	63,0	3,64	4,5	10 000	10 000	1900	6,42	13,3
1400	2,1	2,1	0,33	19,8	0,33	19,8	1,43	1,43	1	1	800	0,04	0,05
	3,3	5,3	0,53	31,8	0,84	50,4	2,32	3,85	1 000	40 000	1300	0,77	29,2
	4,2	6,6	0,66	63,0	1,05	63,0	2,96	4,67	10 000	10 000	1900	4,15	16,7
1500	2,1	2,1	0,33	19,8	0,33	19,8	1,54	1,54	1	1	800	0,06	0,06
	3,3	5,3	0,53	31,8	0,84	50,4	2,5	4,08	1 000	40 000	1300	1,08	36,3
	4,2	6,6	0,66	63,0	1,05	63,0	3,14	5,05	10 000	10 000	1900	5,67	23,8
1600	2,1	2,1	0,33	19,8	0,33	19,8	1,65	1,65	1	1	800	0,09	0,09
	3,3	5,3	0,53	31,8	0,84	50,4	2,68	4,4	1 000	40 000	1300	1,42	46,1
	4,2	6,6	0,66	63,0	1,05	63,0	3,32	5,4	10 000	10 000	1900	7,85	31,5
1700	2,1	2,1	0,33	19,8	0,33	19,8	1,76	1,76	1	1	800	0,12	0,12
	3,3	4,2	0,53	31,8	0,66	39,6	2,75	3,6	1 000	40 000	1300	2,2	25,6
	4,2	5,3	0,66	39,6	0,84	50,4	3,62	4,8	10 000	10 000	1900	11,1	21,6
2000	2,1	2,1	0,33	19,8	0,33	19,8	2,1	2,09	1	1	800	0,26	0,26
	3,3	3,3	0,53	31,8	0,53	31,8	3,4	3,42	1 000	40 000	1300	10,4	34,6
	4,2	4,2	0,66	39,6	0,66	39,6	4,18	4,43	10 000	10 000	1900	10,7	24,7
2120	2,1	2,1	0,33	19,8	0,33	19,8	2,2	2,2	1	1	800	0,36	0,36
	3,3	3,3	0,53	31,8	0,53	31,8	3,63	3,64	1 000	40 000	1300	13,8	42,0
	4,2	4,2	0,66	39,6	0,66	39,6	4,45	4,65	10 000	10 000	1900	13,9	36,6
2240	2,1	2,1	0,33	19,8	0,33	19,8	2,3	2,31	1	1	800	0,47	0,46
	3,3	3,3	0,53	31,8	0,53	31,8	3,85	3,85	1 000	40 000	1300	16,5	53,1
	4,2	4,2	0,66	39,6	0,66	39,6	4,7	4,9	10 000	10 000	1900	17,6	42,1
2360	2,1	2,1	0,33	19,8	0,33	19,8	2,42	2,42	1	1	800	0,61	0,61
	2,6	2,6	0,42	25,2	0,42	25,2	3,2	3,2	1 000	40 000	1300	10,0	31,0
	3,3	3,3	0,53	31,8	0,53	31,8	3,92	3,92	10 000	10 000	1900	10,9	23,1
2500	2,1	2,1	0,33	19,8	0,33	19,8	2,64	2,65	1	1	800	0,81	0,81
	2,6	2,6	0,42	25,2	0,42	25,2	3,38	3,38	1 000	40 000	1300	13,0	34,0
	3,3	3,3	0,53	31,8	0,53	31,8	4,1	4,1	10 000	10 000	1900	14,1	29,8
2650	2,1	2,1	0,33	19,8	0,33	19,8	2,75	2,74	1	1	800	1,09	0,42
	2,6	2,6	0,42	25,2	0,42	25,2	3,5	3,43	1 000	40 000	1300	18,5	48,3
	3,3	3,3	0,53	31,8	0,53	31,8	4,5	4,4	10 000	10 000	1900	20,6	55,8
2800	2,1	2,1	0,33	19,8	0,33	19,8	2,97	2,96	1	1	800	1,42	1,33
	2,6	2,6	0,42	25,2	0,42	25,2	3,6	3,65	1 000	40 000	1300	22,6	55,0
	3,3	3,3	0,53	31,8	0,53	31,8	4,73	4,62	10 000	10 000	1900	27,4	72,5

Примечания:

1. Типы перемагничивающих устройств см. в табл. 31.1.
2. Приведенные значения мощности для каждого типоразмера перемагничивающих устройств относятся к аппаратам без отрицательных перегородок и соответствуют легким, средним и тяжелым условиям работы.
3. Для якорных перемагничивающих устройств (тип 3) при d_ж > 2000 мм параметры соответствуют устройствам с переключателем.

Основные параметры турбинных открытых (тип 5), турбинных закрытых (тип 6) и пропеллерных (тип 7) механических перемишывающих устройств
(по МН 5874—66)

Таблица 31.4

D, мм	Скорость вращения для типов							Среды для типов			ρ, кг/м³	Мощности для типов					
	ω, рад/сек							N, Мэкал/м³				N, кВт					
	5	6	7	5	6	7	5	6	7	5		6	7				
300	18,8	18,8	28,2	3,0	180	3,0	180	4,5	270	4,5	270	2,8	2,8	4,3	0,05	0,05	0,04
	28,2	41,9	66,2	4,5	270	6,67	400	10,5	630	4,4	6,3	4,4	6,3	9,8	1,8	4,75	1,21
	52,1	66,2	105	8,3	498	10,5	630	16,7	1002	7,8	9,9	7,8	9,9	15,7	5,8	8,56	6,05
400	18,8	18,8	28,2	3,0	180	3,0	180	4,5	270	3,8	3,8	3,8	3,8	5,6	0,24	0,24	0,17
	28,2	28,2	52,1	4,5	270	4,5	270	8,33	500	5,6	5,7	5,6	5,7	10,4	0,25	4,8	4,09
	41,9	41,9	66,2	6,67	400	6,67	400	10,5	630	8,4	8,4	8,4	8,4	13,2	10,00	5,0	6,3
500	18,8	18,8	18,8	3,0	180	3,0	180	3,0	180	1,7	4,7	4,7	4,7	4,7	0,7	0,75	0,16
	28,2	28,2	41,9	4,5	270	4,5	270	6,57	400	7,1	7,1	7,1	7,1	10,4	14,2	14,0	5,85
	39,8	39,8	66,2	6,3	379	6,3	378	10,5	630	10,0	11,3	11,3	11,3	16,4	27,0	21,1	17,2
600	12,6	12,6	18,8	2,0	120	2,0	120	3,0	180	3,8	3,8	3,8	3,8	5,6	0,5	0,95	0,67
	18,8	18,8	39,8	3,0	180	3,0	180	6,3	379	5,6	5,6	5,6	5,6	11,9	13,1	8,9	12,8
	28,2	28,2	52,1	4,5	270	4,5	270	8,33	500	8,4	8,5	8,5	8,5	15,7	24,3	17,7	23,2
700	12,6	12,6	18,8	2,0	120	2,0	120	3,0	180	4,4	4,4	4,4	4,4	6,6	1,0	2,12	0,4
	18,8	18,8	28,2	3,0	180	3,0	180	4,5	270	6,6	6,6	6,6	6,6	9,9	35,5	19,5	10,0
	28,2	28,2	41,9	4,5	270	4,5	270	6,67	400	9,9	9,9	9,9	9,9	14,7	45,4	37,8	27,0
800	12,6	12,6	18,8	2,0	120	2,0	120	3,0	180	5,0	5,0	5,0	5,0	7,5	0,5	1,87	31,6
	14,1	18,8	28,2	2,25	135	3,0	180	4,5	270	5,6	7,9	11,2	11,2	15,8	2,1	2,48	1,8
	18,8	28,2	39,8	3,0	180	4,5	270	6,3	379	7,5	11,2	15,8	15,8	21,7	19,5	34,8	18,5
900	12,6	12,6	12,6	2,0	120	2,0	120	3,0	180	5,0	7,9	11,2	11,2	15,8	26,7	68,4	45,0
	14,1	14,1	18,8	2,25	135	2,2	132	3,0	180	6,4	6,3	6,3	6,3	9,9	30,5	37,2	52,1
	18,8	18,8	28,2	3,0	180	3,0	180	4,5	270	8,5	8,5	8,5	8,5	12,7	8,9	2,06	0,93
1000	12,6	12,6	12,6	2,0	120	2,0	120	2,0	120	6,2	6,2	6,2	6,2	9,9	37,5	24,1	12,8
	14,1	14,1	18,8	2,25	135	2,2	132	3,0	180	7,1	7,0	7,0	7,0	8,5	49,1	36,6	28,1
	18,8	18,8	28,2	3,0	180	3,0	180	4,5	270	9,4	9,4	9,4	9,4	14,0	55,5	20,1	34,2
	12,6	12,6	12,6	2,0	120	2,0	120	2,0	120	6,2	6,2	6,2	6,2	9,9	6,5	8,6	1,5
	14,1	14,1	18,8	2,25	135	2,2	132	3,0	180	7,1	7,0	7,0	7,0	8,5	68,0	43,6	19,0
	18,8	18,8	28,2	3,0	180	3,0	180	4,5	270	9,4	9,4	9,4	9,4	14,0	76,6	51,5	45,5
	12,6	12,6	12,6	2,0	120	2,0	120	2,0	120	6,2	6,2	6,2	6,2	9,9	98,8	53,5	56,8

Примечания:

1. Типы перемишывающих устройств см. в табл. 31.1.

2. Приведены три первых значения мощности для каждого типоразмера перемишывающих устройств от расхода к аппаратам без учета расхода переоро- док и соответствующих потерь, средним и низким условиям работы. Четвертое значение мощности для каждого типоразмера является максимальным и относится к аппаратам с отработавшими переородами.

3. При скорости вращения ω=41,9, 52,1 и 63,2 рад/сек нормализованные пределы ограничения соответственно 5, 6; 7, 5 и 10 см.

По интенсивности (в возрастающем порядке) нормализованные перемешивающие устройства можно расположить следующим образом: рамные и якорные, лопастные, пропеллерные, листовые, пропеллерные с диффузором и обинные открытые, турбинные закрытые. По относительной эффективности эти перемешивающие устройства в возрастающем порядке: турбинные закрытые и пропеллерные, обинные открытые, пропеллерные с диффузором, рамные и якорные, лопастные и листовые.

Выбор типа перемешивающего устройства, основных его размеров и скорости вращения в зависимости от технологического процесса, диаметра аппарата D_a , диаметра рабочего элемента d_m , динамического коэффициента вязкости μ_c и плотности ρ_c перемешиваемой среды производится по табл. 31.1—31.4.

Расчет мощности¹

Расчетная мощность N_M (в ат), потребляемая перемешивающим устройством (мешалкой) собственно на перемешивание, при $N_{жс} \approx D_a$ определяется по формуле

$$N_M = K_N \rho_c d_m^3 n^2 \quad (31.1)$$

где d_m — диаметр мешалки в м;
 ρ_c — плотность перемешиваемой среды в кг/м³;
 n — частота вращения мешалки в об/сек;
 K_N — критерий мощности.

Плотностью перемешиваемой среды (смеси) ρ_c в формуле (31.1) считается плотность основной жидкости $\rho_{жс}$, если плотности отдельных перемешиваемых компонентов отличаются друг от друга не более чем на 30%. В противном случае плотность двухкомпонентной смеси ρ_c определяется по формуле

$$\rho_c = \rho_{жс} \varphi + \rho_{ф} (1 - \varphi) \quad (31.2)$$

где $\rho_{жс}$ — плотность основной жидкости (дисперсионной среды) в кг/м³;

$\rho_{ф}$ — плотность дисперсной фазы в кг/м³;

φ — объемная доля дисперсной фазы.

Плотность многокомпонентной смеси можно определять по формуле

$$\rho_c = \frac{1}{\sum \frac{x_i}{\rho_i}} \quad (31.3)$$

где x_i — массовые доли компонентов смеси;

ρ_i — плотности компонентов смеси в кг/м³.

Величина критерия мощности K_N зависит от центростремительного критерия Рейнольдса Re_M , отношения $\frac{D_a}{d_m}$, типа перемешивающего устройства и конструктивных

особенностей аппарата. На рис. 31.1—31.3 приведены графики для определения K_N для различных типов нормализованных перемешивающих устройств в зависимости от Re_M .

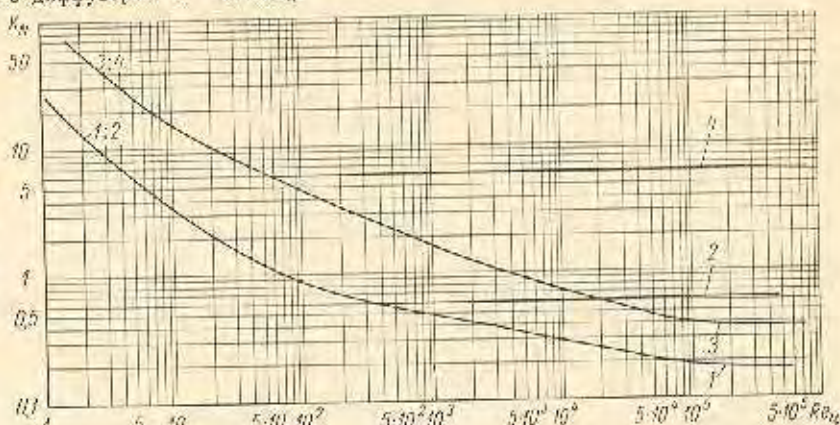


Рис. 31.1. Графики для определения критерия мощности K_N для лопастных (тип 1) и листовых (тип 2) перемешивающих устройств: 1 — для лопастных перемешивающих устройств при $D_a/d_m = 1,5$; 2 — то же, что и 1, но в аппаратах с перегородками; 3 — для листовых перемешивающих устройств при $D_a/d_m = 2$; 4 — то же, что и 3, но в аппаратах с перегородками

Центростремительный критерий Рейнольдса Re_M для любого перемешивающего устройства определяется по формуле

$$Re_M = \frac{\rho_c n d_m^2}{\mu_c} \quad (31.4)$$

где μ_c — динамический коэффициент вязкости смеси в м·сек/м².

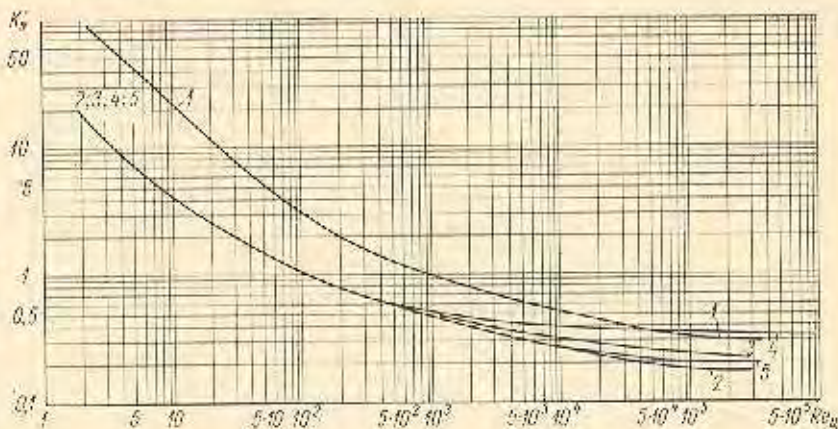


Рис. 31.2. Графики для определения критерия мощности K_N для якорных (тип 3), рамных (тип 4) и пропеллерных (тип 2) перемешивающих устройств: 1 — для якорных и рамных перемешивающих устройств при $D_a/d_m = 1,5$; 2 — для пропеллерных перемешивающих устройств при $D_a/d_m = 3$; 3 — то же, что и 2, но при $D_a/d_m = 4$; 4 — то же, что 2 и 3, но в аппаратах с направляющей трубой; 5 — то же, что 2 и 3, с направляющей трубой

Динамическим коэффициентом вязкости смеси μ_c в формуле (31.4) считается динамический коэффициент вязкости основной жидкости (при $Re_M > 10^3$) в следующих случаях:

1) при эмульгировании — вне зависимости от вязкости перемешиваемых жидкостей, если $\varphi < 0,3$;

¹ По методике, разработанной ЛениНИИхиммашем.

2) при перемешивании взаиморастворимых жидкостей, если вязкость жидкостей отличается друг от друга не более чем в два раза и $\varphi \leq 0,4$;

3) при суспендировании, если $\varphi \leq 20\%$.

В остальных случаях при вычислении центробежного критерия Рейнольдса применяется средний динамический коэффициент вязкости смеси μ_c , величина которого в $\text{н}\cdot\text{сек}/\text{м}^2$ в зависимости от вида перемешиваемых компонентов определяется по следующим формулам:

1) при эмульгировании:

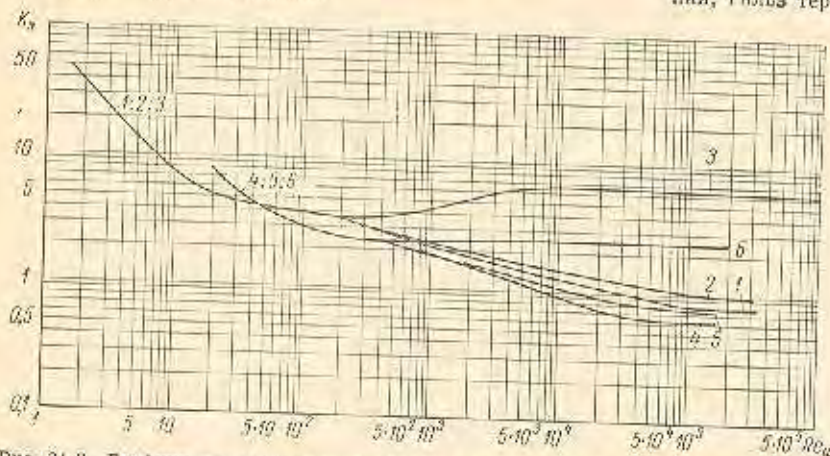


Рис. 31.3. Графики для определения критерия мощности K_N для турбинных (типы 5 и 6) перемешивающих устройств:

1 — для турбинных открытых перемешивающих устройств при $D_d/d_{ж} = 3$; 2 — то же, что и 1, но при $D_d/d_{ж} = 4$; 3 — то же, что и 2, но в аппаратах с перегородками; 4 — для турбинных закрытых перемешивающих устройств при $D_d/d_{ж} = 3$; 5 — то же, что и 4, но при $D_d/d_{ж} = 4$; 6 — то же, что и 5, но в аппаратах с перегородками

а) если дисперсной фазой является жидкость более вязкая, чем основная (дисперсионная) среда, и объем последней более или равен 40%, то

$$\mu_c = \frac{\mu_{жс}}{1 - \varphi} \left(1 + \frac{6\varphi\mu_{ф}}{\mu_{жс} + \mu_{ф}} \right); \quad (31.5)$$

б) если дисперсной фазой является жидкость менее вязкая, чем основная среда, и объем последней более или равен 40%, то

$$\mu_c = \frac{\mu_{жс}}{1 - \varphi} \left(1 - \frac{1,5\varphi\mu_{ф}}{\mu_{жс} + \mu_{ф}} \right); \quad (31.6)$$

2) при перемешивании взаиморастворимых жидкостей

$$\mu_c = \frac{(1-\varphi)\mu_{жс}}{\mu_{ф}}; \quad (31.7)$$

3) при взвешивании твердых частиц в жидкости:

а) если объемная концентрация твердой фазы меньше или равна 10%,

$$\mu_c = \mu_{жс} (1 + 2,5\varphi); \quad (31.8)$$

б) если объемная концентрация твердой фазы более 10%, то

$$\mu_c = \mu_{жс} (1 + 4,5\varphi); \quad (31.9)$$

где $\mu_{жс}$ — динамический коэффициент вязкости основной жидкости (дисперсионной среды) в $\text{н}\cdot\text{сек}/\text{м}^2$;
 $\mu_{ф}$ — динамический коэффициент вязкости дисперсной фазы в $\text{н}\cdot\text{сек}/\text{м}^2$;

φ — то же, что и в формуле (31.2).

В тех случаях, когда высота жидкости в аппарате $H_{жс} > D_a$, требуемая на перемешивание мощность берется с коэффициентом K_H , величина которого определяется по формуле

$$K_H = \left(\frac{H_{жс}}{D_a} \right)^{0,5}. \quad (31.10)$$

Влияние внутренних устройств (труб передавливания, гильз термометров и т. п.) в аппаратах без отражательных перегородок при определении расчетной мощности учитывается соответствующими коэффициентами k_i , значения которых для различных внутренних устройств приведены в табл. 31.5. При наличии в аппарате отражательных перегородок влиянием внутренних устройств на увеличение мощности пренебрегают.

Окончательно расчетная мощность N'_M (в вт), требуемая на перемешивание, определяется по формуле

$$N'_M = K_H k_1 k_2 \dots k_i N_M; \quad (31.11)$$

где N_M — мощность на перемешивание по формуле (31.1) в вт .

Расход мощности на перемешивание газожидкостных смесей ниже, чем на перемешивание эмульсий и суспензий.

При перемешивании жидкостей в аппаратах без отражательных перегородок необходимо, чтобы глубина образуемой в жидкости воронки не достигала ступицы перемешивающего устройства. Глубина этой воронки h_a

в м (от уровня жидкости в аппарате) для основных типов перемешивающих устройств определяется по следующим формулам:

для лопастного (тип 1)

$$h_a = 0,06 \text{Re}_a^{0,3} \Gamma_{гч}^{0,15} \left(\frac{D_a}{d_m} \right)^{-0,87} d_m; \quad (31.12)$$

для турбинного (закрытого)

$$h_a = 0,31 \text{Re}_a^{0,26} \Gamma_{гч}^{0,69} \left(\frac{D_a}{d_m} \right)^{-0,54} \left(\frac{h_m}{d_m} \right)^{0,15} d_m; \quad (31.13)$$

для пропеллерного

$$h_a = 0,03 \text{Re}_a^{0,32} \Gamma_{гч}^{0,52} \left(\frac{D_a}{d_m} \right)^{-0,24} \left(\frac{h_m}{d_m} \right)^{-0,25} d_m; \quad (31.14)$$

где $\Gamma_{гч} = \frac{n^2 d_m}{g}$ — центробежный критерий Фруда; значения остальных величин см. выше.

Формулы (31.12)–(31.14) справедливы для значений критериев в следующих диапазонах:

$$\text{Re}_a = 200 \div 150\,000; \quad \Gamma_{гч} = 0,057 \div 2,1;$$

для турбинного (закрытого) перемешивающего устройства

$$\text{Re}_a = 150 \div 85\,000; \quad \Gamma_{гч} = 0,065 \div 0,85;$$

для пропеллерного перемешивающего устройства

$$\text{Re}_a = 300 \div 100\,000; \quad \Gamma_{гч} = 0,095 \div 2,4.$$

Пример 31.1. Определить диаметр мешалки и расчетную мощность на валу лопастного перемешивающего

Таблица 31.5

Значения коэффициентов k_t , учитывающих влияние внутренних устройств при определении мощности, требуемой на перемешивание в аппаратах без перегородок (по МН 5874—66)

№ коэф-фициента	Внутреннее устройство	Типы перемешивающих устройств	
		1-5	7
		k_t	
1	Плоский змеевик из труб $d_m = 0,03 \div 0,05 D_s$, размещенный у дна	2,5—3,0	—
2	Змеевик, размещенный вдоль стенок аппарата	2,0	2,0
3	Одна гильза термометра	1,1	1,05
4	Труба передавливания, устройство для замера уровня и т. п.	1,2	1,1
5	Две трубы передавливания, удаленные друг от друга на расстояние не менее $0,75 D_s$	1,3	1,15
6	Детали крепления на направляющей трубы	—	1,05

Примечание. Значения k_t определены для жидкостей с динамическим коэффициентом вязкости ≤ 100 мк·сек/м².

устройства (тип 1) по следующим данным: $D_s = 3$ м; $H_{ж} = 3$ м; перемешиваемая среда — суспензия; $\rho_{ж} = 1,2 \cdot 10^3$ кг/м³; $\rho_{ф} = 2,5 \cdot 10^3$ кг/м³; объемная доля дисперсной фазы $\varphi = 0,1$; $\mu_{ж} = 0,15$ н·сек/м²; в аппарате имеются отражательные перегородки.

По данным табл. 31.1, приняв $\frac{D_s}{d_m} = 1,5$, определяем диаметр мешалки $d_m = \frac{D_s}{1,5} = \frac{3}{1,5} = 2$ м; окружная скорость мешалки $\omega \approx 3$ м/сек.

Плотность перемешиваемой среды (смеси) определяем по формуле (31.2):

$$\rho_c = \rho_{ф}\varphi + \rho_{ж}(1 - \varphi) = 2,5 \cdot 10^3 \cdot 0,1 + 1,2 \cdot 10^3 (1 - 0,1) = 1,33 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

Поскольку $\varphi = 0,1 < 0,2$, то, полагая $Re_{ц} > 10^3$, динамический коэффициент вязкости смеси принимаем $\mu_c = \mu_{ж} = 0,15$ н·сек/м².

Расчетная частота вращения мешалки

$$n = \frac{\omega}{\pi d_m} = \frac{3}{\pi \cdot 2} = 0,477 \text{ сек}^{-1}.$$

Принимаем ближайшую частоту вращения по табл. 31.2: $n = 0,53$ сек⁻¹. Центробежный критерий Рейнольдса определяем по формуле (31.4):

$$Re_{ц} = \frac{\rho_c n^2 d_m^2}{\mu_c} = \frac{1,33 \cdot 10^3 \cdot 0,53^2 \cdot 2^2}{0,15} = 1,88 \cdot 10^4.$$

Критерий мощности при данном значении $Re_{ц}$ определяем по графику 2 на рис. 31.1: $K_N = 0,6$. Мощность, требуемую на перемешивание смеси, определяем по формуле (31.1):

$$N_{ж} = K_N \rho_c n^3 d_m^5 = 0,6 \cdot 1,33 \cdot 10^3 \cdot 0,53^3 \cdot 2^5 = 3800 \text{ вт}.$$

Пример 31.2. Определить диаметр мешалки и расчетную мощность на валу закрытого турбинного перемешивающего устройства (тип 6) по следующим данным: $D_s = 2$ м; $H_{ж} = 3$ м; перемешиваемая среда — двухкомпонентная эмульсия; $\rho_c = 1,5 \cdot 10^3$ кг/м³; $\mu_{ж} = 4$ н·сек/м²; $\mu_{ф} = 1$ н·сек/м²; объемная доля дисперсной фазы $\varphi = 0,4$; аппарат без отражательных перегородок и внутренних устройств.

По данным табл. 31.1, приняв $\frac{D_s}{d_m} = 4$, определяем диаметр мешалки $d_m = \frac{D_s}{4} = 0,5$ м; окружная скорость мешалки $\omega \approx 4$ м/сек.

Поскольку дисперсная фаза менее вязкая, чем основная среда, динамический коэффициент вязкости смеси определяем по формуле (31.6):

$$\mu_c = \frac{\mu_{ж}}{1 - \varphi} \left(1 - \frac{1,5\varphi\mu_{ф}}{\mu_{ж} + \mu_{ф}} \right) = \frac{4}{1 - 0,4} \left(1 - \frac{1,5 \cdot 0,4 \cdot 1}{4 + 1} \right) = 5,86 \text{ н·сек/м}^2.$$

Расчетная частота вращения мешалки

$$n = \frac{\omega}{\pi d_m} = \frac{4}{\pi \cdot 0,5} = 2,54 \text{ сек}^{-1}.$$

Принимаем ближайшую частоту вращения по табл. 31.4: $n = 3$ сек⁻¹. Центробежный критерий Рейнольдса определяем по формуле (31.4):

$$Re_{ц} = \frac{\rho_c n^2 d_m^2}{\mu_c} = \frac{1,5 \cdot 10^3 \cdot 3^2 \cdot 0,5^2}{5,86} = 192.$$

Критерий мощности при данном значении $Re_{ц}$ определяем по графику 5 на рис. 31.2: $K_N = 8$. Мощность, требуемую на перемешивание смеси, определяем по формуле (31.1):

$$N_{ж} = K_N \rho_c n^3 d_m^5 = 8 \cdot 1,5 \cdot 10^3 \cdot 3^3 \cdot 0,5^5 = 10\,120 \text{ вт}.$$

Коэффициент, учитывающий увеличение мощности при $H_{ж} > D_s$, определяем по формуле (31.10):

$$K_H = \left(\frac{H_{ж}}{D_s} \right)^{0,5} = \left(\frac{3}{2} \right)^{0,5} = 1,225.$$

Окончательно расчетную мощность определяем по формуле (31.11):

$$N'_{ж} = K_H N_{ж} = 1,225 \cdot 10\,120 = 12\,400 \text{ вт}.$$

Лопастные и листовые перемешивающие устройства

На рис. 31.4 показаны конструкции нормализованных стальных сварных лопастных, а на рис. 31.5 — листовых перемешивающих устройств, а в табл. 31.6 — основные данные об этих устройствах.

Расчетный изгибающий момент лопасти M'_a в м-м в месте присоединения ее к ступице определяется по формуле

$$M'_a = 0,0813 \frac{N'_a}{n}, \quad (31.15)$$

где N'_a — расчетная мощность по формуле (31.11) в ат; n — частота вращения мешалки в сек⁻¹.

Расчетный изгибающий момент в любом сечении лопасти, находящемся на расстоянии x от оси вращения, определяется по формуле

$$M'_{ax} = M'_a \frac{0,5d_m - x}{0,5d_m}, \quad (31.16)$$

где M'_a — расчетный изгибающий момент по формуле (31.15).

Таблица 31.6

Стальные сварные лопастные перемешивающие устройства (тип 1)
(по МН 5874—66)

Условное обозначение устройства (шифр 10) нормального исполнения (конструктивное исполнение 1) $d_m = 2240$ мм из углеродистой стали (исполнение по материалу 1): «Перемешивающее устройство 10.1.2240.1 МН 5874—66».

d_m	d	b	b_1	t	s	Масса, кг	M'_a , н-м
700	70				8	6,3	84
850	45	85				7,5	206
1000		100				9,2	262
1250	60	125	112	780	12	14,7	810
1600	75	160	132	1000		20,2	1100
1900	80	190	144	1180	14	38,3	2720
2240	75	220	164	1384		50,0	2060
	90					60,0	6320
2650	75	260	174	1646		63,5	2450
	90				70,2	5820	

Примечания:

1. Конструкции перемешивающих устройств данного типа и их шифр см. на рис. 31.4, а конструкции и размеры ступицы — в табл. 31.7.

2. Два значения для одного и того же типоразмера d_m относятся к двум конструктивным исполнениям: 1 — нормальному (верхнее значение); 2 — усиленному (нижнее значение).

3. По материалу перемешивающие устройства имеют два исполнения: 1 — из углеродистой стали; 2 — из коррозионностойкой стали.

* M'_a — наибольший крутящий момент при нулевой мощности.

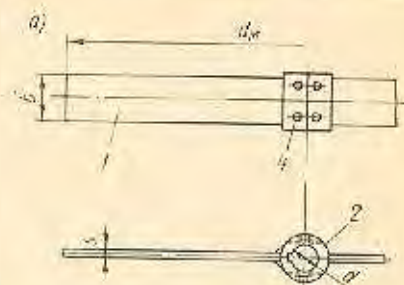


Рис. 31.4. Конструкции стальных сварных лопастных перемешивающих устройств (тип 1), шифр 10 по МН 5874—66: а — нормальное исполнение; б — усиленное исполнение; 1 — лопасти; 2 — ступица из двух половин; 3 — ребра; 4 — болты с гайками и шайбами

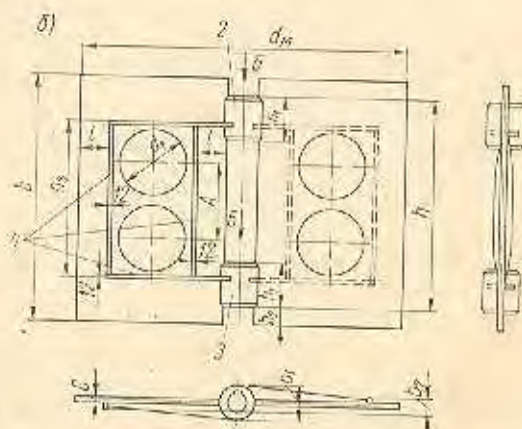
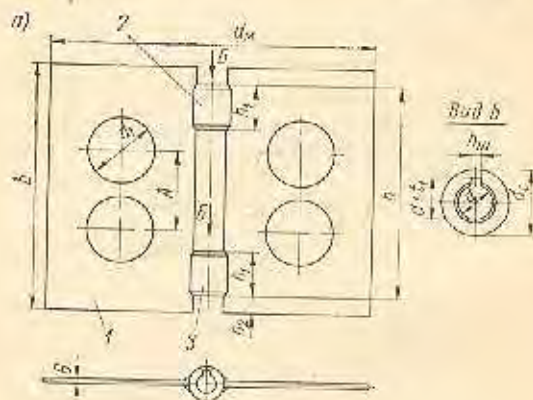
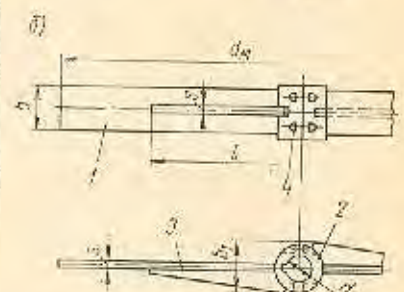
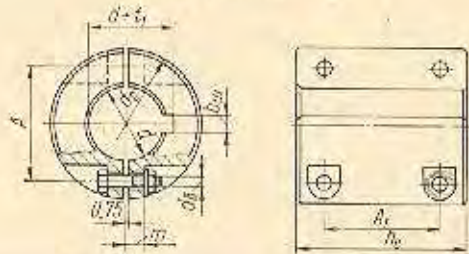


Рис. 31.5. Конструкции стальных сварных листовых перемешивающих устройств (тип 2), шифр 20 по МН 5874—66; а — нормальное исполнение; б — усиленное исполнение; 1 — лопасти; 2 — нижняя ступица; 3 — верхняя ступица; 4 — ребра

Таблица 31.7

Ступицы (из двух половин) лопастных, якорных и рамных перемешивающих устройств (по МН 5874—66)



d	d _c	h _c	m	A	A ₁	b _ш	d+ti	d _г	d _м , мм					
									Лопастные		Якорные		Рамные	
									Нормальные	Усиленные	Нормальные	Усиленные	Нормальные	Усиленные
45	90	110	18	64	70	14	49,9	M12	≤1000	—	≤1250	—	≤1250	—
60	110	130 150	22	80	80 90	18	66,4		1250		1320—1400 1500—1700		1320—1400 1060—1700	
75	125	180 250 280		100	110 160 190	20	82,4		1600 2240 2650		—		—		1320—1400
80	130	200	25	130	22	88,4	1900		2000—2360		—		2000—2360		1500—1700
90	155	250 280	30	115	160 190	25	99,4	M16	—	—	2240 2650	—	—	—
		220			130						2500—2800				2500—2800
100	170	250	32	128	150	28	110,4	M20	—	—	—	2000—2500 2650—2800	—	2000—2500 2650—2800
120	200		35	150		32	131,4							

Примечание. Шпонки по ГОСТу 10748—68.

Расчетный момент сопротивления W' в $\text{м}^3(\text{см}^3)$ соответствующего поперечного сечения лопасти (относительно нейтральной оси) при изгибе ее в направлении вращения определяется по формуле

$$W' = \frac{M'_a}{\sigma_{ад}}, \quad (31.17)$$

где M'_a — изгибающий момент в соответствующем сечении лопасти в $\text{Мн} \cdot \text{м}$ ($\text{кгс} \cdot \text{см}$);

$\sigma_{ад}$ — допускаемое напряжение на изгиб для материала лопасти в $\text{Мн}/\text{м}^2$ ($\text{кгс}/\text{см}^2$).

Исходя из расчетного W' по общеизвестным формулам сопротивления материалов в зависимости от формы поперечного сечения лопасти при заданной ширине ее b определяют номинальные (без прибавок) расчетные размеры: толщину лопасти и высоты ребра ее (при наличии такового). Окончательные размеры указанных элементов перемешивающего устройства принимаются с учетом двусторонних прибавок на коррозию и эрозию (если таковая имеется) и округляются до ближайшего большего значения (толщина — по сортаменту, высота — до четного числа в мм).

Лопастные перемешивающие устройства конструктивно могут выполняться цельными или из двух половин, соединяемых между собой по ступице четырьмя болтами. Расчет последних см. в якорных перемешивающих устройствах.

Пример 31.3. Определить основные размеры (кроме размеров ступицы) лопастного перемешивающего устройства (см. рис. 31.4) к примеру 31.1 по следующим данным: материал — углеродистая сталь ($\sigma_{ад} = 150 \text{ Мн}/\text{м}^2$); $C_k = 1 \text{ м}$; лопасть таврового сечения.

Из примера 31.1 имеем: $d_m = 2 \text{ м}$; $N'_m = 3800 \text{ вт}$; $n = 0,53 \text{ сек}^{-1}$.

Ширину лопасти определяем по данным табл. 31.1:

$$b = 0,1d_m = 0,1 \cdot 2 = 0,2 \text{ м}.$$

Расчетный изгибающий момент лопасти в месте соединения ее со ступицей определяем по формуле (31.15):

$$M'_a = 0,0813 \frac{N'_m}{n} = 0,0813 \frac{3800}{0,53} = 583 \text{ н} \cdot \text{м} (5830 \text{ кгс} \cdot \text{см}).$$

Стальные сварные листовые перемешивающие устройства (тип 2)
(по МН 5874—66)

Таблица 31.8

Условное обозначение устройства (шифр 20) нормального исполнения (конструктивное исполнение 1) $d_m = 1250$ мм из углеродистой стали (исполнение по материалу 1): «Перемешивающее устройство 20.1.1250.1 МН 5874—66».

d_m	Нижняя ступица			Верхняя ступица			d_p	d_1	h	h_1	h_2	h_3	b	b_1	b_2	t	l	Масса, кг	$M_{кр}^*$, н·м	
	d	$b_{из}$	$d+t_1$	d	$b_{из}$	$d+t_1$														
500																				
630	40	12	44,4	42	12	46,4	70	80	300	90	40	—	380	—	—	—	—	150	12,0	54,6
800								75	350		50	—	480	—	—	—	—	180	19,6	170
1000	60	18	66,4	62	20	68,4	105	90	490	130	55	372	600	76	36	70	—	36,2	555	
1250	70	20	77,4	72		79,4	115	120	620		65	502	750	96	46	90	250	47,8	1700	
	90	25	99,4	92	25	99,4	140	150	800	150	80	652	960	116	58	110	310	72,0	2150	
1500	80	22	88,4	82	22	90,4	130			180		772					300	88,3	5220	
	100	28	110,4	102	28	112,4	155	180	940	220	90	732	1120	146	76	130	370	97,1	5400	
																	350	127	12900	

Примечания:

1. Конструкции перемешивающих устройств данного типа и их шифр см. на рис. 31.5.
2. Два значения для одного и того же типоразмера d_m относятся к двум конструктивным исполнениям: 1 — нормальному (верхнее значение); 2 — усиленному (нижнее значение).
3. По материалу перемешивающих устройств имеют два исполнения: 1 — из углеродистой стали; 2 — из коррозионностойкой стали.
4. Шпонки по ГОСТу 10748—68.

* $M_{кр}$ — наибольший крутящий момент при пусковой мощности.

Расчетный момент сопротивления поперечного сечения лопасти в указанном месте (относительно нейтральной оси) при изгибе ее в направлении вращения определяем по формуле (31.17):

$$W' = \frac{M'_a}{\sigma_{из}} = \frac{583 \cdot 10^{-6}}{150} = 3,88 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Принимаем, что лопасть имеет тавровое сечение от ступицы до середины лопасти, т. е. на длине

$$x = \frac{0,5d_m}{2} = \frac{0,5 \cdot 2}{2} = 0,5 \text{ м}.$$

Расчетный изгибающий момент лопасти на конце таврового сечения определяем по формуле (31.16):

$$M'_{из} = M'_a \frac{0,5d_m - x}{0,5d_m} = 583 \frac{0,5 \cdot 2 - 0,5}{0,5 \cdot 2} = 292 \text{ н·м (2920 кгс·см)}.$$

Расчетный момент сопротивления данного сечения лопасти определяем по формуле (31.17):

$$W'_1 = \frac{M'_{из}}{\sigma_{из}} = \frac{292 \cdot 10^{-6}}{150} = 1,94 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Номинальная расчетная толщина лопасти на конце таврового сечения

$$s' = \sqrt{\frac{6W'_1}{b}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 1,94 \cdot 10^{-6}}{0,2}} = 7,65 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 7,65 \text{ мм}.$$

С учетом двусторонней прибавки на коррозию и округления размера принимаем $s = 10$ мм.

Толщину ребра в тавровом сечении также принимаем $s = 10$ мм, а высоту его в месте присоединения к ступице задаем конструктивно: $h = 50$ мм. Расчетом ее не проверяем, поскольку прочность таврового сечения заведомо выше требуемой.

Якорные перемешивающие устройства

На рис. 31.6 показаны конструкции нормализованных стальных сварных якорных перемешивающих устройств, а в табл. 31.9 приведены основные данные об этих устройствах.

Расчетный изгибающий момент лопасти якоря $M'_{из}$ в н·м в месте присоединения ее к ступице определяется по формуле (31.15).

Расчетный крутящий момент (в том же сечении) M'_k в н·м определяется по формуле

$$M'_k = 0,0542 \frac{[(0,5d_m)^3 - (0,5d_m - b)^3] (h - b)}{[(0,5d_m)^4 - (0,5d_m - b)^4] (1 + a)} \cdot \frac{N'_m}{\pi} \quad (31.18)$$

где d_m , b и h — соответствующие размеры в м по рисунку типа 3 в табл. 31.1;

N'_m и π — то же, что и в формуле (31.15).

$$a = \frac{b}{h \left[\left(\frac{0,5d_m}{0,5d_m - b} \right)^4 - 1 \right]} \quad (31.19)$$

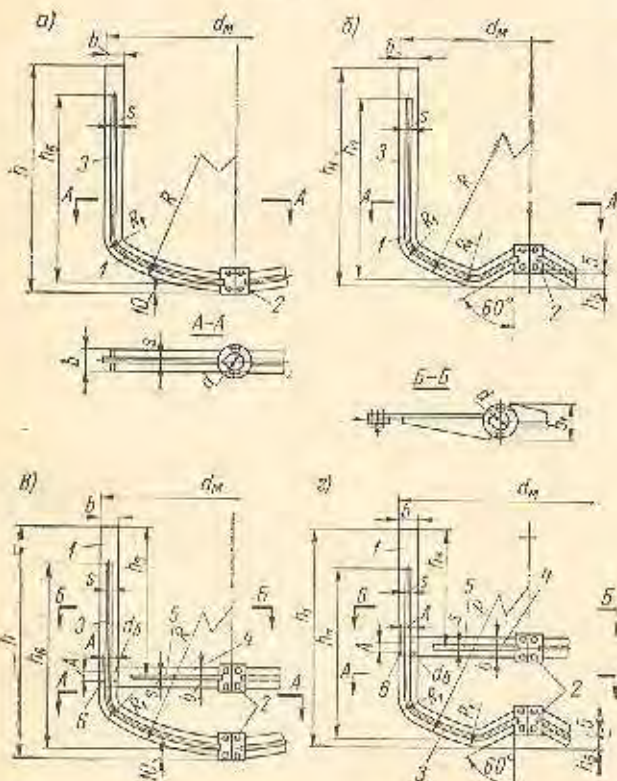


Рис. 31.6. Конструкции сварных якорных переменных устройств (тип 3) по МИ 5874—56: а (шифр 31) и б (шифр 32) — нормальное исполнение; в (шифр 33) и г (шифр 34) — усиленное исполнение;

1 — лопасть; 2 — ступица из двух половин; 3 — ребро; 4 — переключатель; 5 — ребро; 6 — болты с гайками и шайбами

Расчетный изгибающий момент M'_{u1} в н·м в месте перехода прямой части лопасти в кривую (для мешалок без переключателя) и в месте присоединения переключателя (для мешалок с переключателем) определяется по формуле

$$M'_{u1} = M'_k \left(1 - \frac{h_s}{h - 0,5b} \right), \quad (31.20)$$

где h и b — то же, что и в формуле (31.18);

h_s — высота прямой части лопасти от места перехода ее в кривую или от места присоединения переключателя в м;

M'_k — см. формулу (31.18).

Расчетный момент сопротивления поперечного сечения лопасти W' в м³(см³) в месте присоединения ее к ступице определяется по формуле

$$W' = \frac{\sqrt{(M'_u)^2 + 4(M'_k)^2}}{\sigma_{из}}, \quad (31.21)$$

где M'_u и M'_k — моменты, вычисляемые соответственно по формулам (31.15) и (31.18), в Мн·м (кгс·см);

$\sigma_{из}$ — допускаемое напряжение на изгиб для материала лопасти в Мн/м² (кгс/см²).

Высоту ребер, укрепляющих лопасти, следует подбирать так, чтобы фактическое значение W' сечения (при заданных b и s) было не менее W' .

Номинальная расчетная толщина лопасти s' в см определяется по формуле

$$s' = \sqrt{\frac{6M'_{u1}}{b\sigma_{из}}}, \quad (31.22)$$

где M'_{u1} — вычисляется по формуле (31.20) в Мн·м (кгс·см);

b — то же, что в формуле (31.18) в м (см);

$\sigma_{из}$ — то же, что в формуле (31.21).

Якорное устройство конструктивно выполняется большей частью из двух половин, соединяемых между собой четырьмя болтами по ступице.

Расчетная нагрузка на один болт в Мн (кгс) в этом случае определяется по формуле

$$P'_6 = \frac{M'_u}{A}, \quad (31.23)$$

где M'_u — момент, вычисляемый по формуле (31.15) в Мн·м (кгс·см);

A — расстояние между болтами в горизонтальном направлении в м (см).

Расчетную площадь поперечного сечения болта по внутреннему диаметру резьбы F'_6 в м² (см²) определяют по формуле (21.17), считая $z' = 1$. Диаметр болтов d_6 выбирается по табл. 21.1.

Пр и м е р 31.4. Определить основные размеры якорного (без переключателя) переменного устройства (рис. 31.6, а) по следующим данным: материал — углеродистая сталь ($\sigma_{из} = 150$ Мн/м²); $C_k = 1$ мм; $N'_m = 2000$ ат; $n = 0,53$ сек⁻¹; $d_m = 1,6$ м; $D_a = D_{м.к} = 1,8$ м; материал болтов — углеродистая сталь ($\sigma_6 = 120$ Мн/м²).

По данным табл. 31.1 определяем: ширина лопасти $b = 0,07d_m = 0,07 \cdot 1,6 = 0,112$ м; высота переменного устройства $h = d_m = 1,6$ м.

Расчетный изгибающий момент лопасти в месте присоединения ее к ступице по формуле (31.15) равен

$$M'_u = 0,0813 \frac{N'_m}{\pi} = 0,0813 \frac{2000}{0,53} = 378 \text{ н·м (3780 кгс·см)}.$$

Определим значение a по формуле (31.19):

$$a = \frac{b}{h \left[\left(\frac{0,5d_m}{0,5d_m - b} \right)^4 - 1 \right]} = \frac{0,112}{1,6 \left[\left(\frac{0,5 \cdot 1,6}{0,5 \cdot 1,6 - 0,112} \right)^4 - 1 \right]} = 0,0855.$$

Стальные сварные якорные перемешивающие устройства (тип 3)
(по МН 5874—66)

Таблица 31.9

Условное обозначение устройства шифра 33 нормального исполнения (конструктивное исполнение 1) $d_m = 2000$ мм из углеродистой стали (исполнение по материалу 1); 2 — перемешивающее устройство 33.1.2000.1 МН 5874—66.

d_m	d	h	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7	b	b_1	ϵ	A	R	R_1	Масса, кг		$M_{кр}^{*}$ н·м														
																I*	II*															
800	45	800	750	—	—	75	252	220	55	12	—	—	—	—	—	720	90	21	20,2	585												
950		850	800																		90	300	230	65	795	127	26,6	26	958			
1060		1000	900																		127	300	250	75	914	112	36,3	35,9	1175			
1120		1250	1200																		145	380	303	80	944	142	40	39,7	1760			
1250																					135	392	333	90	1073	138	59	58,7	2110			
1320	60	1400	1320	—	—	115	462	416	100	18	—	—	—	—	—	1108	173	77	74,4	2760												
1400		150	490																		343	95	1212	143	80	80,2	2290					
1500		1400	1320																		145	515	440	105	1262	193	116	110	3100			
1600		1600	1500																		115	510	460	115	1370	174	150	139	4370			
1700																					150	605	538	120	1426	224	155	155	5960			
2000	80	1800	1700	1170	920	185	175	1600	1480	140	200	115	1704	234	190	180	4120															
2120	80	2000	1900	1285	1025	220	210	1700	1650	150	216	16	—	—	—	105	1704	234	190	180	4120											
100	210																					1700	1650	150	216	125	1764	294	214	202	4420	
2240	80																					205	1700	1650	155	236	115	1764	294	243	231	7600
100	190																					1700	1650	155	236	130	1888	285	230	212	5690	
2360	80																					2240	2120	1410	1160	177	170	2000	1840	165	175	140	2010	275	255	236	5880
100	2240	2120	1410	1160	177	170	2000	1840	165	175	140	2010	275	285	266	9350																
2500	90	2500	2360	1585	1485	227	230	2200	2030	175	248	18	—	—	—	140	2080	346	334	310	5880											
100	1585																					1485	227	230	140	2080	346	334	310	5880		
2650	90																					1590	1490	227	273	150	2220	350	355	335	5880	
120	1590																					1490	227	273	145	2220	350	387	367	15200		
2800	90																					1600	1495	195	180	195	248	18	—	—	—	—
120	1600	1495	195	180	155	2360	356	428	405	18800																						

Примечания:

1. Конструкция перемешивающих устройств данного типа и их шифры см. на рис. 31.6, а конструкцию и размеры ступицы в табл. 31.7.
2. Два значения для одного и того же типоразмера d_m относятся к двум конструктивным исполнениям: 1 — нормальному (верхнее значение); 2 — усиленному (нижнее значение).
3. По материалу перемешивающие устройства имеют два исполнения: 1 — из углеродистой стали; 2 — из коррозионно-стойкой стали.

* 1 — для перемешивающих устройств шифров 31 и 33; II — шифров 32 и 34.

** $M_{кр}$ — наибольший крутящий момент при пусковой мощности.

Расчетный крутящий момент лопасти в месте присоединения ее к ступице определяем по формуле (31.18):

$$M'_{кр} = 0,0542 \frac{[(0,5d_m)^3 - (0,5d_m - b)^3] (h - b)}{[(0,5d_m)^4 - (0,5d_m - b)^4] (1 + a)} \cdot \frac{N'_{кр}}{n} =$$

$$= 0,0542 \frac{[(0,5 \cdot 1,6)^3 - (0,5 \cdot 1,6 - 0,112)^3] (1,6 - 0,112)}{[(0,5 \cdot 1,6)^4 - (0,5 \cdot 1,6 - 0,112)^4] (1 + 0,0855)} \cdot \frac{2000}{0,53} =$$

$$= 282 \text{ н·м (2820 кгс·см)}.$$

Принимаем высоту прямой части лопасти от места перехода ее в кривую равным $h_s = 1$ м.

Расчетный изгибающий момент в указанном месте лопасти определяем по формуле (31.20):

$$M'_{a1} = M'_{кр} \left(1 - \frac{h_s}{h - 0,5b} \right) =$$

$$= 282 \left(1 - \frac{1}{1,6 - 0,5 \cdot 0,112} \right) = 98,6 \text{ н·м (986 кгс·см)}.$$

Расчетный момент сопротивления поперечного сечения лопасти в месте присоединения ее к ступице определяем по формуле (31.21):

$$W' = \frac{\sqrt{(M'_{a1})^2 + 4(M'_{кр})^2}}{\sigma_{ad}} =$$

$$= 10^{-8} \frac{\sqrt{378^2 + 4 \cdot 282^2}}{150} = 4,53 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Номинальную расчетную толщину лопасти определяем по формуле (31.22):

$$s' = \sqrt{\frac{6M'_{a1}}{b\sigma_{ad}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{6 \cdot 98,6 \cdot 10^{-3}}{0,112 \cdot 150}} = 5,94 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 5,94 \text{ мм}.$$

С учетом двусторонней прибавки на коррозию и округления размера принимаем $s = 10$ мм.

Согласно заданию поперечное сечение лопасти в месте присоединения ее к ступице имеет крестообразную форму (см. рис. 31.6, а). Момент сопротивления этого сечения при изгибе

$$W = \frac{(s - 2C_K)(b - 2C_K)^3 + (b - s)(s - 2C_K)^3}{6(b - 2C_K)} =$$

$$= \frac{(0,01 - 0,002)(0,112 - 0,002)^3 + (0,112 - 0,01)(0,01 - 0,002)^3}{6(0,112 - 0,002)} =$$

$$= 19,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3,$$

т. е. $W \gg W' \gg 4,53 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$.

Нагрузку на один болт в соединении двух половин перемешивающего устройства при расстоянии между бол-

Расчетный момент сопротивления рамы в указанных сечениях при изгибе ее — W' — равен сумме моментов сопротивления всех лопастей в этих сечениях относительно их нейтральных осей.

Рамные перемешивающие устройства конструктивно выполняются преимущественно из двух половин, соединяемых между собой болтами по ступицам (по четыре болта на каждую ступицу). Расчетная нагрузка на один болт в M_n (кгс) в этом случае определяется по формуле

$$P'_b = \frac{M'_n}{zA}, \quad (31.24)$$

где M'_n — вычисляется по формуле (31.15) в $M_n \cdot m$ (кгс·см);

z — количество ступиц;

A — расстояние между болтами в горизонтальном направлении в m (см).

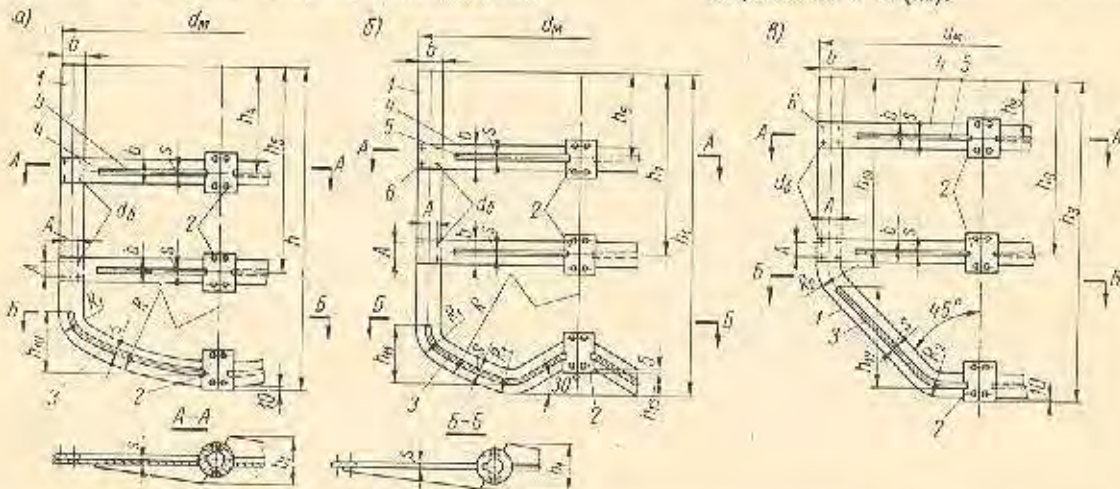


Рис. 31.7. Конструкции стальных сварных рамных перемешивающих устройств (тип 6) по МН 5674—66: а — шифр 41; б — шифр 42; г — шифр 43.

1 — лопасть; 2 — ступица из двух половин; 3 — ребро; 4 — перекладина; 5 — ребро; 6 — болты с гайками и шайбами

тами в горизонтальном направлении $A = 0,1$ м определяем по формуле (31.23):

$$P'_b = \frac{M'_n}{A} = \frac{378 \cdot 10^{-6}}{0,1} = 3780 \cdot 10^{-6} \text{ Мн (378 кгс)}.$$

Расчетное сечение болта по внутреннему диаметру резьбы, полагая коэффициент $K = 1$ и считая $z = 1$, определяем по формуле (21.17):

$$P'_b = \frac{P'_b}{\sigma_{0,2}} = \frac{3780 \cdot 10^{-6}}{120 \cdot 1} = 31,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Подбираем по табл. 21.1 болты $M12 \times 1,25$ ($F_b = 84,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$; $K = 0,4$). Проверяем правильность выбора болтов:

$$F_b K = 84,5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,4 = 33,8 \cdot 10^{-6} > P'_b = 31,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Рамные перемешивающие устройства

На рис. 31.7 показаны конструкции нормализованных стальных сварных рамных перемешивающих устройств, а в табл. 31.10 приведены основные данные об этих устройствах.

Расчетный изгибающий момент рамы M'_n в месте присоединения ее к ступицам определяется по формуле (31.15).

Определение диаметра болтов производится так же, как и для якорных перемешивающих устройств.

Турбинные перемешивающие устройства

На рис. 31.8 показаны конструкции нормализованных стальных сварных турбинных перемешивающих устройств, а в табл. 31.11 приведены основные данные об этих устройствах.

Расчетный изгибающий момент лопасти M'_n в $m \cdot m$ в открытых устройствах в сечении, параллельном оси вала и находящемся от нее на расстоянии, равном половине диаметра диска D , определяется по формуле

$$M'_n = \frac{0,027(x - 0,5D)}{x} \cdot \frac{N'_m}{n}, \quad (31.25)$$

где

$$x = 0,75 \frac{(0,5d_m)^4 - (0,5d_n - l)^4}{(0,5d_m)^2 - (0,5d_n - l)^2} \text{ в м}, \quad (31.26)$$

где

l — длина лопасти в m ;

N'_m и n — то же, что и в формуле (31.15).

Расчетный момент сопротивления лопасти при изгибе в указанном выше сечении определяется по формуле (31.17).

Таблица 31.10

Условные обозначения устройств шифра 42 нормального исполнения (конструктивные исполнения I) $d_n = 1500$ мм из углеродистой стали (исполнение по материалу I); «Перемешивающее устройство 42.1.1500.1 МН 5874—65».

d_n	d	мм										R_3	Масса, кг			$M_{кв}^{**}$ к.к.		
		h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7	h_8	h_9	h_{10}		h_{11}	h_{12}	h_{13}		h_{14}	h_{15}	$h_{16}$	1*	11*	111*
800	800	178	500	130	400	180	450	152	120	208	75	495	88	125	85	34	35	2 060
950	800	1050	230	550	430	185	630	197	130	282	90	575	98	—	44	42	44	4 200
1080	—	—	240	640	435	—	—	200	150	—	127	—	108	—	54	51	—	2 160
1120	1000	1350	—	—	440	240	840	225	153	344	145	890	122	—	72	59	—	6 190
1250	45	—	345	815	—	—	—	236	183	—	135	—	128	—	60	58	50	2 250
1320	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	125	—	—	—	78	76	78	7 900
1400	75	1250	1450	348	—	245	845	270	193	405	150	910	136	—	94	90	—	2 940
1500	60	—	—	350	—	200	650	—	256	216	115	—	142	—	115	105	—	2 940
1600	80	1400	1500	400	920	250	730	305	241	480	145	870	154	—	141	137	—	11 300
1700	60	—	450	1055	355	—	—	300	261	—	115	—	174	—	120	134	140	2 940
2000	80	1600	1700	460	1060	360	860	300	348	388	150	900	164	—	170	164	170	15 000
2120	100	—	—	470	1170	370	920	—	388	317	183	—	200	—	184	167	184	3 920
2240	80	2000	—	—	—	—	—	325	1025	443	220	1140	216	—	213	205	213	15 900
2360	100	2240	505	1285	375	1025	—	375	1195	450	205	1280	—	—	252	242	—	5 590
2500	80	—	510	1410	380	1160	—	456	397	—	177	—	236	—	292	282	—	24 100
2500	90	—	585	1585	485	1485	—	522	432	—	170	—	—	—	282	270	282	5 880
2650	90	—	590	1600	490	1490	—	542	452	—	227	—	—	—	324	312	324	82 000
2800	90	—	600	1600	495	1495	—	562	490	—	190	—	—	—	303	285	303	5 890
—	120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	177	—	—	—	347	329	347	36 900
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	170	—	—	—	384	314	—	9 800
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	227	—	—	—	377	357	—	26 900
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	220	—	—	—	440	414	—	9 800
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	220	—	—	—	453	427	—	29 300
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	227	—	—	—	468	448	—	9 800
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	273	—	—	—	505	485	—	47 500
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	195	—	—	—	518	494	—	9 800
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	180	—	—	—	556	533	—	54 200

Примечания:

1. Конструкция перемешивающих устройств данного типа и их шифры см. на рис. 31.7, а конструкция и размеры ступицы — в табл. 31.7.
2. Для значений для одного и того же диаметра d_n относятся к двум конструктивным исполнениям: I — нормальному (верхнее значение); 2 — угловому (нижнее значение).

3. По материалу перемешивающего устройства имеют для исполнения: I — из углеродистой стали; 2 — из коррозионностойкой стали.

4. Размеры $h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6, h_7, h_8, h_9, h_{10}, h_{11}, h_{12}, h_{13}, h_{14}, h_{15}, h_{16}$ в мм.

* I — для перемешивающих устройств шифра 41; II — шифра 42; III — шифра 43.

** $M_{кв}$ — наибольший крутящий момент при пусковой мощности.

Таблица 31.11

Стальные сварные турбинные открытые (тип б) и закрытые (тип в) перемешивающие устройства (по МН 5874—66)
Условное обозначение устройства шифра 50 нормального исполнения (конструктивное исполнение 1) $d_{\text{н}} = 500$ мм из углеродистой стали
(исполнение по материалу 1): «Перемешивающее устройство 50.1.500.1 МН 5874—66».

$d_{\text{н}}$	d_c		D	D_1	h_c	h_1	h_2	b	l	s	s_1	s_2	A	A_1	$d_{\text{б}}$	A_2	Масса, кг		$M_{\text{с}}$, н·м	Допускаемая нагрузка, г·м	
	1*	II*															1*	II*		1*	II*
300	35***	40	225	176	90	68	42	80	75	4						160	5,88	262	298	0,75	1,00
400	60	60	300	240	130	88	61	80	100	6	6	4	30	26	230		9,16 13,9	575	298	1,33 2,04	1,86 2,78
500	45	50	374	300	110	108	51	100	125	6						300	13,7 19,6	1570	1220	2,20 3,14	3,04 4,58
600	45	50	450	360	110	128	51	120	150							340	20,0 25,9	1980	1440	3,70 4,80	5,65 6,90
700	45	50	524	426	110	150	51	142	175		8					410	28,3 43,8	4320	3070	5,20 8,10	7,40 10,0
800	60	60	500	480	130	168	61	160	200			6	50	40	480		38,1 60,2	3240	5560	8,75 13,9	10,5 15,9
900	60	70	674	544	150	188	71	180	225	8						550	48,3 71,5	6150	4460	11,1 16,5	17,1 18,5
1000	75	80	750	604	180	208	105	200	250		12					620	70,5 88,5	10250	7110	16,2 20,4	24,0 27,8

Примечания:

1. Конструкция перемешивающих устройств данных типов и их шифры см. на рис. 31.8, конструкция и размеры ступицы для типа в — в табл. 31.7, значения $h_{\text{н}}$ и $d + l_1$ для типа в — в табл. 31.12.
2. Два значения для одного и того же типоразмера $d_{\text{н}}$ относятся к двум конструктивным исполнениям: 1 — нормальному (верхнее значение); 2 — усиленному (нижнее значение).
3. По материалу перемешивающие устройства имеют два исполнения: 1 — из углеродистой стали; 2 — из коррозионностойкой стали.

* 1 — для перемешивающих устройств типа в, II — для типа б.

** $M_{\text{с}}$ — наибольший крутящий момент при нулевой скорости.

*** Для данной ступицы (см. рисунок в табл. 31.7): $d_c = 50$ мм; $h_{\text{н}} = 10$ мм; $d + l_1 = 39,6$ мм; $h_2 = 90$ мм; $A = 58$ мм; $A_1 = 50$ мм; $d_{\text{б}} = M8$.

Номинальная расчетная толщина лопатки s' определяется аналогично лопастям и якорным перемешивающим устройствам.

Открытые турбинные устройства могут выполняться цельными и из двух половин, соединяемых между собой по ступице четырьмя болтами. Расчет болтов в этом случае такой же, как для якорных перемешивающих устройств.

Закрытые турбинные устройства, как правило, выполняются цельными. Основные размеры их обычно со-

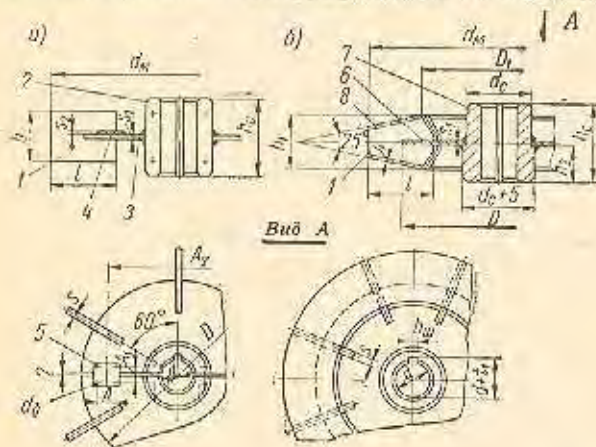


Рис. 31.8. Конструкция стальных сварных турбинных перемешивающих устройств (типы а и б) по МН 5874—66: а — тип 5 (шифр 50), открытые; б — тип 6 (шифр 60), закрытые: 1 — лопасть; 2 — ступица из двух половин; 3 — диск из двух половин; 4 — плавник; 5 — болты с гайками и шайбами; 6 — диск; 7 — ступица; 8 — конус

ответствуют открытым турбинным устройствам. Наличие двух конических дисков в закрытых устройствах упрочняет и упрощает всю конструкцию в целом по сравнению с открытыми, и поэтому расчет их можно производить как открытых.

Пример 31.5. Определить основные размеры открытого цельного турбинного перемешивающего устройства к примеру 31.2 по следующим данным: материал — сталь ($\sigma_{ад} = 150 \text{ МПа/М}^2$); $C_{\text{н}} = 1 \text{ мм}$.

Из примера 31.2 имеем: $d_m = 0,5 \text{ м}$; $N'_m = 12\,400 \text{ Вт}$; $n = 3 \text{ сек}^{-1}$.

По данным табл. 31.1 определяем: $D = 0,75d_m = 0,75 \cdot 0,5 = 0,375 \text{ м}$; $b = 0,2d_m = 0,2 \cdot 0,5 = 0,1 \text{ м}$; $l = 0,25d_m = 0,25 \cdot 0,5 = 0,125 \text{ м}$.

Значение x в формуле (31.25) определяем по формуле (31.26):

$$x = 0,75 \frac{(0,5d_m)^4 - (0,5d_m - l)^4}{(0,5d_m)^3 - (0,5d_m - l)^3} = 0,75 \frac{(0,5 \cdot 0,5)^4 - (0,5 \cdot 0,5 - 0,125)^4}{(0,5 \cdot 0,5)^3 - (0,5 \cdot 0,5 - 0,125)^3} = 0,201 \text{ м}$$

Расчетный изгибающий момент лопатки в сечении по диаметру диска определяем по формуле (31.25):

$$M'_a = \frac{0,027(x - 0,5D)}{x} \cdot \frac{N'_m}{n} = \frac{0,027(0,201 - 0,5 \cdot 0,375)}{0,201} \cdot \frac{12\,400}{3} = 7,5 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (7,5 \text{ кгс} \cdot \text{см})$$

Расчетный момент сопротивления лопатки при изгибе в указанном сечении определяем по формуле (31.17):

$$W'_r = \frac{M'_a}{\sigma_{ад}} = \frac{7,5 \cdot 10^{-6}}{150} = 0,05 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$$

Номинальная расчетная толщина лопатки в том же сечении

$$s' = \sqrt{\frac{6W'_r}{b}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 0,05 \cdot 10^{-7}}{0,1}} = 1,73 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 1,73 \text{ мм}$$

С учетом двусторонней прибавки на коррозию и округления размера принимаем $s = 4 \text{ мм}$.

Пропеллерные перемешивающие устройства

На рис. 31.9 показана конструкция нормализованного стального литого пропеллерного перемешивающего устройства, на рис. 31.10 — развертка лопасти, а в табл. 31.12—31.14 — основные данные об этих устройствах.

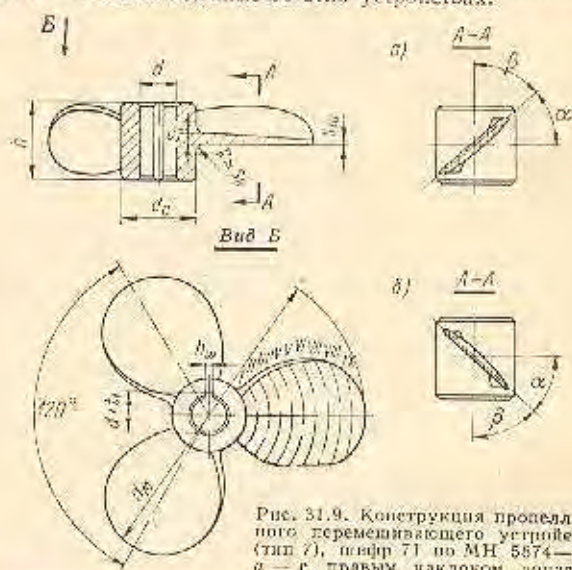


Рис. 31.9. Конструкция пропеллерного перемешивающего устройства (тип 7), шифр 71 по МН 5874—66: а — с правым наклоном лопасти; б — с левым наклоном лопасти (для двухрядных перемешивающих устройств); на диаметре d_m шагговое отношение равно Γ и $\alpha = 17^\circ 40'$

Пропеллерные (обычно трехлопастные) устройства выполняются открытыми и с направляющей трубой. Нормализованные конструкции последней показаны на

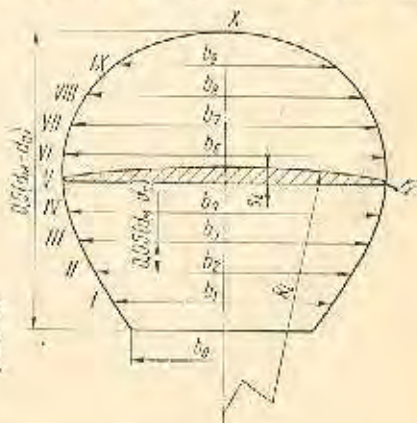


Рис. 31.10. Развертка лопасти трехлопастного пропеллерного перемешивающего устройства по МН 5874—66

Стальные пропеллерные переменивающие устройства (тип 7) (по МН 5874—66)

Таблица 31.12

Условное обозначение устройства шифра 71 нормального исполнения (конструктивное исполнение 1) $d_M = 500$ мм из углеродистой стали (исполнение по материалу 1): «Переменивающее устройство 71.1.500.1 МН 5874—66».

d_M	d	d_c	h	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	$b_5=b_6$	b_7	b_8	b_9	b_{10}	$d+t_1$	ε_0	ε_{10}	Масса, кг	M_K^* , н·м	Допускаемая нагрузка, д.м		
мм																					
300	32 50	70 93	70	71	87,6	101,5	113	121	125,5	120,5	108	83	10 14	35,8 54,9	8	3,8	3,0 5,0	78,5 96,5	0,3 0,5		
400	40 70	70 112	90	86	112	130	144,5	155	160,5	154	138	106	12 20	44,4 77,4	10,5	4	6,0 7,5	157 220	0,6 0,7		
500	50 90	90 140	110	108	139	162	179	192	200	191,5	171	132	14 25	54,9 99,4	12,5	4,8	11,3 14,0	304 600	1,5 1,6		
600	60 100	105 155	130	128 158	167	194	216	230	240	230	206	159	18 28	66,4 110,4	14,5 13,5	5,5	19,0 25,0	490 1010	2,5 3,4		
700	70 110	115 170	150	146 182	192	222	247	264	274	264	236	182	20 28	77,4 120,4	16,5 15,5	6,5	27,7 36,6	637 1470	3,9 5,5		
800	80 120	130 185	180	170 200	220	256	284	304	316	304	272	210	22 32	88,4 131,4	19 17,5	7	41,0 49,5	981 1980	6,6 9,2		
900	90 130	140 190	200	186 216	245	284	316	338	351	337	302	232	25 32	99,4 141,4	20,5 19,5	7,5	54,8 66,0	1275 2290	11,0 13,0		
1000	100 130	155 190	220	208 228	273	317	352	376	391	376	336	259	28 32	110,4 141,4	20,5 20	8	71,0 76,2	1470 3780	14,0 16,0		

Примечания: 1. Конструкцию переменивающих устройств данного типа см. на рис. 31.9. 2. Два значения для одного и того же типоразмера d_M относятся к двум конструктивным исполнениям: 1 — нормальному (верхнее значение); 2 — усиленному (нижнее значение). 3. По материалу переменивающие устройства имеют два исполнения: 1 — из углеродистой стали; 2 — из коррозионностойкой стали. 4. Шпонка по ГОСТу 18748—68.

* M_K — наибольший крутящий момент при пусковой мощности.

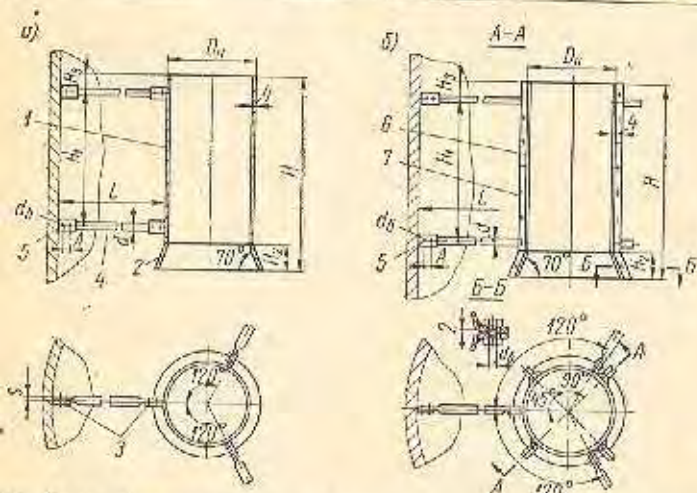


Рис. 31.11. Конструкции направляющей трубы для пропеллерных переменивающих устройств по МН 5874—66: а — неразъемная (цельная) направляющая труба, шифр 73; б — разъемная направляющая труба, шифр 74; 1 — труба; 2 — конус; 3 — ушко; 4 — тяга; 5 — болты, гайки и шайбы; 6 — труба из четырех частей; 7 — планки для соединения четырех частей трубы между собой

рис. 31.11, а основные данные о них приведены в табл. 31.15.

Каждая из трех лопастей является частью правительной винтовой поверхности, имеющей постоянный шаг, равный диаметру пропеллера d_M .

Ширина развертки лопасти b_i в мм на произвольном радиусе R_i от центра ступицы определяется по формуле

$$b_i = k_i \frac{d_M^2}{d_M - d_c} \quad (31.27)$$

где d_M — диаметр мешалки в мм;
 d_c — диаметр ступицы в мм;
 k_i — коэффициент, значения которого при разбивке длины вылета лопасти (от ступицы) на 10 равных частей указаны в табл. 31.16.

Ширина лопасти b в мм в месте соединения ее со ступицей определяется по формуле

$$b = \frac{4d_M^2 b_0}{\sin^2 \beta b_0^2 + 4d_c^2} \quad (31.28)$$

где $\beta = 90^\circ - \alpha$; $\alpha = \arctg \frac{d_M}{\pi d_c}$;

b_0 — см. рис. 31.10 — в мм.

Размеры сечений в развертке лопасти пропеллерных перемешивающих устройств
(по МН 5874—66)

Таблица 31.13

d_M	R_0	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9	мм						r_6	r_7
											r_0	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5		
300	113	173	260	336	415	500	540	536	510	316	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	
400	124	244	330	442	540	632	752	770	760	540	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	
500	165	317	444	582	685	808	962	940	905	640	2,0	1,75	1,5	1,35	1,2	1,0	1,0	
600	198 340	378	536	700	842	1000	1110	1160	1120	822	2,4	2,0	1,8	1,5	1,4	1,2	1,2	
700	230 391	394	612	795	956	1135	1240	1320	1200	843	2,7	2,4	2,1	1,9	1,6	1,4	1,2	
800	262 417	525	726	965	1168	1310	1460	1580	1520	1080	3,0 2,9	2,75	2,4	2,1	1,8	1,5	1,5	
900	302 440	483	816	1075	1290	1480	1675	1755	1745	1270	3,4 3,2	3,0	2,6	2,3	2,0	1,8	1,8	
1000	373 505	720	1020	1300	1690	1810	2020	2220	2180	1530	3,4 3,2	3,0	2,6	2,3	2,0	1,8	1,8	

Примечания:

1. Развертку лопасти см. на рис. 31.10.
2. Два значения для одного и того же типоразмера d_M относятся к двум конструктивным исполнениям: 1 — нормальному (верхнее значение); 2 — усиленному (нижнее значение).

Угол наклона сечений лопасти в пропеллерных перемешивающих устройствах
(по МН 5874—66)

Таблица 31.14

d_M , мм	Угол α для сечений									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
300	53°45'	45°40'	39°30'	34°35'	30°35'	27°20'	24°45'	22°30'	20°35'	19°00'
400	58°00'	48°45'	41°30'	35°55'	31°25'	27°55'	25°00'	22°40'	20°45'	19°05'
500	58°00'									
600	58°00'									
700	59°40'	50°00'	42°25'	34°30'	32°00'	28°15'	25°15'	22°50'	20°50'	19°10'
800	59°40' 51°48'									
900	60°50' 53°42'	50°45'	43°00'	36°55'	32°10'	28°25'	25°25'	23°00'	20°55'	
1000	60°50' 56°38'									

Примечания:

1. Конструкцию пропеллера см. на рис. 31.9.
2. Два значения для одного и того же типоразмера d_M относятся к двум конструктивным исполнениям: 1 — нормальному (верхнее значение); 2 — усиленному (нижнее значение).

Устойчива 31.13

Направляющая труба пропеллерного перемешивающего устройства (по МИ 5874-66)
 Условное обозначение неразъемной направляющей трубы (шифр 73) для аппарата емкости 1 м³ (обозначение 201) $d_M = 300$ мм из углеродистой стали
 (исполнение по материалу 1); «Направляющая труба 73.201.300.1 МИ 5874-66»

d_M , мм	V , м ³	D_0 , мм	Исполнение						H_1	1	2	3	H_2	H_3	d	s	A	d_5	z^*	Исполнение							
			D_N		H		L													1	2	3	1	2	3	1	2
			1	2	1	2	1	2																			
300	1,0	1000	—	—	700	—	—	450	—	—	337	—	—	—	—	—	—	—	—	22,0	—						
	1,5	1200	—	—	850	—	—	600	—	—	437	—	—	—	—	—	—	—	—	27,0	—						
	3,2	—	—	320	—	1200	—	—	—	950	—	540	—	—	—	—	—	—	—	—	44	44,2					
400	2,0	1400	—	—	710	—	—	480	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	31,2	—						
	2,5	—	—	—	950	—	—	670	—	—	487	—	—	—	—	—	—	—	—	41,3	—						
	3,2	—	—	425	—	1240	—	960	—	850	—	490	—	—	—	—	—	—	—	53,3	55,7						
500	4,0	1600	—	—	1300	—	—	1000	—	—	587	—	—	—	—	—	—	—	—	55,8	—						
	5,0	—	—	—	1110	—	—	730	—	900	—	640	—	—	—	—	—	—	—	58,3	72,1						
	6,3	1800	—	—	1430	—	—	1050	—	1190	—	740	—	—	—	—	—	—	—	75,0	96,5						
600	8,0	2000	—	—	1640	—	—	1250	—	1280	—	840	—	—	—	—	—	—	—	85,9	98,8						
	10,0	—	—	530	—	1720	—	1350	—	1200	—	840	—	—	—	—	—	—	—	80,0	93,9						
	12,5	2200	—	—	2110	—	—	1730	—	2020	—	885	—	—	—	—	—	—	—	110	142						
700	16	2400	—	—	1850	—	—	1450	—	1750	—	990	—	—	—	—	—	—	—	118	164						
	20	—	—	630	—	2530	—	2080	—	2000	—	985	—	—	—	—	—	—	—	158	183						
	25	2600	—	—	2290	—	—	1500	—	2750	—	965	—	—	—	—	—	—	—	166	299						
800	32	—	—	728	—	3020	—	1900	—	3350	—	—	—	—	—	—	—	—	—	221	364						
	40	—	—	—	—	720	—	—	—	4600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	80	183						
	50	3000	—	—	—	—	—	5120	—	4000	—	1140	—	—	—	—	—	—	—	—	431						

Примечания:
 1. Конструкция направляющих труб в их шифре см. на рис. 31.11.
 2. По материалу направляющие трубы имеют два исполнения: 1 — из углеродистой стали; 2 — из нержавеющей стали.
 * V — емкость аппарата; D_0 — внутренний диаметр аппарата; ω — скорость вращения перемешивающего устройства; z — количество бантов для осевой связи секций направляющей трубы исполнения 2.

Значения коэффициента k_l в формуле (31.27) при определении сечений лопасти пропеллера (см. рис. 31.10)

Сечение лопасти	R_0	R_I	R_{II}	R_{III}	R_{IV}	R_V	R_{VI}	R_{VII}	R_{VIII}	R_{IX}	R_X
k_l	0,182	0,224	0,260	0,282	0,310	0,320	0,322	0,308	0,276	0,212	0

Радиус R в мм, на котором ширина развертки равна b , определяется по формуле

$$R = d_c \left(\frac{b}{b_0} - 0,5 \right). \quad (31.29)$$

Расчетные изгибающие моменты M'_{II} и M'_{ul} в н·м, действующие на одну лопасть пропеллера, определяются по формулам:

в направлении параллельно оси вала

$$M'_{II} = \frac{0,298 (0,35d_m - 0,5d_c)}{d_m} \cdot \frac{N'_m}{n}; \quad (31.30)$$

в направлении перпендикулярно оси вала

$$M'_{ul} = \frac{0,18 (0,3d_m - 0,5d_c)}{d_m} \cdot \frac{N'_m}{n}, \quad (31.31)$$

где d_m — диаметр пропеллера в м;
 d_c — диаметр ступицы в м;
 N'_m и n — то же, что и в формуле (31.15).

Расчетные изгибающие моменты M'_{ux} и M'_{uy} в н·м, действующие на лопасть по главным осям ее в месте соединения со ступицей (см. рис. 31.9), определяются по формулам:

в направлении оси x (параллельно лопасти)

$$M'_{ux} = M'_{II} \sin \alpha - M'_{ul} \cos \alpha; \quad (31.32)$$

в направлении оси y (перпендикулярно лопасти)

$$M'_{uy} = M'_{II} \cos \alpha + M'_{ul} \sin \alpha. \quad (31.33)$$

Номинальная расчетная толщина лопасти пропеллера s' в м в месте соединения ее со ступицей определяется по формуле

$$s' = \sqrt{\frac{6M'_{uy}}{b_0 \sigma_{ud}} + \frac{3M'_{ux}}{b_0^2 \sigma_{ud}}}, \quad (31.34)$$

где M'_{uy} и M'_{ux} — в Мн·м (кгс·см);
 b_0 — в м (см);
 σ_{ud} — в Мн/м² (кгс/см²).

Толщина лопасти принимается из конструктивных соображений с учетом прибавок на коррозию и эрозию. Листы пропеллера имеют лопасти обтекаемой формы с утонением толщины к периферии со всех сторон. В случае выполнения лопастей из листа с приваркой их к ступице лопасти имеют одинаковую толщину, определенную расчетом для места соединения ее со ступицей.

Пример 31.6. Определить основные размеры трехлопастного пропеллера переменной частоты по следующим данным: материал — углеродистая сталь ($\sigma_{ud} = 150 \text{ Мн/м}^2$); $C_k = 1 \text{ м/с}$; $d_m = 0,25 \text{ м}$; $d_c = 50 \text{ мм}$; $N'_m = 1000 \text{ вт}$; $n = 10,5 \text{ сек}^{-1}$.

Ширину развертки лопасти на разных радиусах определяем по формуле (31.27):

$$b_l = k_l \frac{d_m^2}{d_m - d_c} = k_l \frac{250^2}{250 - 50} = k_l 312,5 \text{ мм.}$$

Значения k_l принимаем по табл. 31.16, тогда

$$b_0 = 312,5k_0 = 312,5 \cdot 0,182 = 57 \text{ мм};$$

$$b_1 = 312,5k_1 = 312,5 \cdot 0,224 = 70 \text{ мм};$$

$$b_2 = 312,5k_2 = 312,5 \cdot 0,260 = 81,4 \text{ мм};$$

$$b_3 = 312,5k_3 = 312,5 \cdot 0,282 = 88,2 \text{ мм};$$

$$b_4 = 312,5k_4 = 312,5 \cdot 0,310 = 97 \text{ мм};$$

$$b_5 = 312,5k_5 = 312,5 \cdot 0,320 = 100 \text{ мм};$$

$$b_6 = 312,5k_6 = 312,5 \cdot 0,322 = 100,5 \text{ мм};$$

$$b_7 = 312,5k_7 = 312,5 \cdot 0,308 = 96,4 \text{ мм};$$

$$b_8 = 312,5k_8 = 312,5 \cdot 0,276 = 86,4 \text{ мм};$$

$$b_9 = 312,5k_9 = 312,5 \cdot 0,212 = 66,4 \text{ мм};$$

$$b_{10} = 312,5k_{10} = 312,5 \cdot 0 = 0.$$

Определяем углы наклона лопасти в месте соединения ее со ступицей (см. рис. 31.9):

$$\alpha = \arctg \frac{d_m}{\pi d_c} = \arctg \frac{0,25}{\pi \cdot 0,05} = \arctg 1,59 = 57^\circ 50';$$

$$\beta = 90^\circ - \alpha = 90^\circ - 57^\circ 50' = 32^\circ 10'.$$

Ширину лопасти в месте соединения ее со ступицей определяем по формуле (31.28):

$$b = \frac{4d_m^2 b_0}{\sin^2 \beta b_0^2 + 4d_c^2} = \frac{4 \cdot 50^2 \cdot 57}{\sin^2 32^\circ 10' \cdot 57^2 + 4 \cdot 50^2} = 52,1 \text{ мм.}$$

Радиус, на котором ширина развертки равна b , определяем по формуле (31.29):

$$R = d_c \left(\frac{b}{b_0} - 0,5 \right) = 50 \left(\frac{52,1}{57} - 0,5 \right) = 20,75 \text{ мм.}$$

Определяем расчетные изгибающие моменты, действующие на лопасть:
в направлении параллельно оси вала по формуле; (31.30)

$$M'_{II} = \frac{0,298 (0,35d_m - 0,5d_c)}{d_m} \cdot \frac{N'_m}{n} = \frac{0,298 (0,35 \cdot 0,25 - 0,5 \cdot 0,05)}{0,25} \cdot \frac{1000}{10,5} = 7,1 \text{ н·м (71 кгс·см)};$$

в направлении перпендикулярно оси вала по формуле (31.31),

$$M'_{u1} = \frac{0,18(0,3d_u - 0,5d_c)}{d_u} \cdot \frac{N'_u}{\pi} =$$

$$= \frac{0,18(0,3 \cdot 0,25 - 0,5 \cdot 0,05)}{0,25} \cdot \frac{1000}{10,5} =$$

$$= 3,43 \text{ н} \cdot \text{м} (34,3 \text{ кгс} \cdot \text{см}).$$

Определяем расчетные изгибающие моменты, действующие на лопасть по главным осям ее в месте соединения со ступицей:

в направлении оси x по формуле (31.32)

$$M'_{ux} = M'_u \sin \alpha - M'_{u1} \cos \alpha =$$

$$= 7,1 \sin 57^\circ 50' - 3,43 \cos 57^\circ 50' =$$

$$= 4,19 \text{ н} \cdot \text{м} (41,9 \text{ кгс} \cdot \text{см});$$

направлении оси y по формуле (31.33)

$$M'_{uy} = M'_u \cos \alpha + M'_{u1} \sin \alpha =$$

$$= 7,1 \cos 57^\circ 50' + 3,43 \sin 57^\circ 50' =$$

$$= 6,68 \text{ н} \cdot \text{м} (66,8 \text{ кгс} \cdot \text{см}).$$

Номинальную расчетную толщину лопасти определяем по формуле (31.34):

$$s' = \sqrt{\frac{6M'_{uy}}{b_0 \sigma_{\text{изб}}} + \frac{3M'_{ux}}{b_0^2 \sigma_{\text{изб}}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{6 \cdot 6,68 \cdot 10^{-6}}{0,057 \cdot 150} + \frac{3 \cdot 4,19 \cdot 10^{-6}}{0,057^2 \cdot 150}} =$$

$$= 0,00216 + 0,0000258 \approx 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 2,2 \text{ мм}.$$

С учетом двусторонней прибавки на коррозию и округления размера принимаем $s = 5 \text{ мм}$.

31.2 ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ ПЕРЕМЕШИВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Принцип действия пневматических перемешивающих устройств, называемых барботерами, заключается в том, что при пропускании мелких пузырьков воздуха, газа или пара через слой жидкости в аппарате жидкость приходит в движение, чем и осуществляется перемешивание. При этом газ или пар могут подаваться в аппарат или только для перемешивания, или в качестве агента, участвующего в том или ином физико-химическом процессе, протекающем в аппарате. В первом случае газ должен непрерывно полностью отводиться из аппарата, во втором — отводится лишь непрореагировавшая часть его.

Процесс пневматического перемешивания жидкостей может протекать как при избыточном давлении в аппарате, так и без давления (при атмосферном давлении). Ниже рассматриваются вопросы, связанные с таким пневматическим перемешиванием, когда газ не реагирует с перемешиваемой жидкостью. Пневматическое перемешивание при взаимном реагировании газа с жидкостью относится к технологии процесса и освещено в специальной технической литературе.

Чаще всего при пневматическом перемешивании в химической аппаратуре применяется сжатый воздух, причем перемешивание производится большей частью при атмосферном давлении.

Простейшая конструкция барботера, широко распространенная в химической аппаратуре, представляет собой горизонтальную прямую или изогнутую трубу, имеющую по всей длине расположенные рядами отверстия $d = 3 \div 6 \text{ мм}$ на равном расстоянии друг от друга. Площадь сечения всех отверстий в трубе обычно принимается равной площади сечения трубы. Такой барботер устанавливается горизонтально внизу аппарата, в котором перемешивается жидкость.

Расход воздуха для указанных барботеров при перемешивании под атмосферным давлением зависит от требуемой интенсивности перемешивания [77]: при слабом перемешивании — $0,4 \text{ м}^3/\text{мин}$ на 1 м^2 поверхности перемешиваемой жидкости; при среднем перемешивании — $0,8 \text{ м}^3/\text{мин}$ на 1 м^2 поверхности; при интенсивном перемешивании — $1,0 \text{ м}^3/\text{мин}$ на 1 м^2 поверхности.

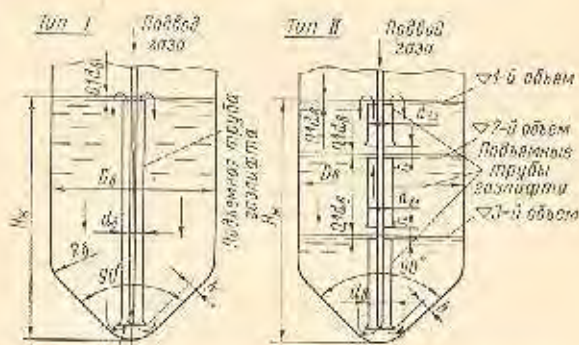


Рис. 31.12. Барботеры типа газлифта: I — для одного перемешиваемого объема; II — для нескольких перемешиваемых объемов. При $D_0 \leq 1,4 \text{ м}$ $d_0 = (0,08 \div 0,1) D_0$; при $D_0 > 1,4 \text{ м}$ $d_0 = (0,1 \div 0,12) D_0$; $d_{01} = 1,1 d_0$, $d_{02} = 1,1 d_{01}$; $b = (0,4 \div 0,5) d_0$; $b = (0,7 \div 0,8) d_0$; $R = (0,3 \div 0,25) D_0$; $R_{II} \geq 0,3 D_0$.

Другим видом барботеров, широко применяемым в настоящее время в химической аппаратуре, является барботер типа газлифта. Такие барботеры требуют для перемешивания значительно меньше воздуха по сравнению с предыдущими.

Барботер типа газлифта представляет устройство (рис. 31.12), состоящее из двух основных частей: трубы, подводящей газ, и подъемной (циркуляционной) трубы. Газ, поступающий в нижнюю часть жидкости, устремляется по подъемной трубе кверху, увлекая за собой жидкость, благодаря чему в аппарате осуществляется циркуляция, а следовательно, и перемешивание жидкостей. Газ непрерывно отводится из аппарата сверху.

Барботеры типа газлифта с одной центральной подъемной трубой могут применяться в цилиндрических вертикальных аппаратах диаметром до 3 м и более независимо от высоты аппарата, для перемешивания одного объема жидкости используется тип I, а для перемешивания нескольких объемов (до пяти) — тип II.

Приведенные на рис. 31.12 соотношения размеров основных элементов барботеров типа газлифта получены в ЛенНИИхиммаше в результате экспериментальных работ по перемешиванию под атмосферным давлением суспензий с динамическим коэффициентом вязкости $\mu_0 < 0,1 \text{ н} \cdot \text{сек}/\text{м}^2$, с соотношением жидкой среды ($\rho_{ж} = 1,5 \times 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$) и к твердой ($\rho_{т} = 3 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$) по массе не менее $3 : 1$ и величиной твердых частиц до 100 мкм . Средний расход воздуха на перемешивание составил $0,1 \text{ м}^3/\text{мин}$ на 1 м^2 свободной поверхности жидкости.

На рис. 31.13 показаны основные конструктивные узлы сварных барботеров типа газлифта и относительные размеры их. При конструировании подобных барботеров для перемешивания суспензий с параметрами, близкими

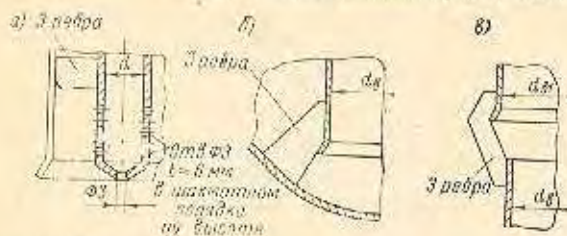


Рис. 31.13. Основные конструктивные узлы сварных барботеров типа газлифта: а — видевая часть газовой трубы; б — нижнее крепление подъемной трубы газлифта; в — крепление подземных труб газлифта между собой

к указанным выше, с достаточным приближением можно пользоваться приведенными ранее данными.

В тех случаях, когда требуется перемешивать более вязкие системы или системы с другими массовыми соотношениями жидкой среды и твердой фазы, иными плотно-

стями компонентов и т. д., указанные выше относительные размеры элементов газлифтов могут быть неприменимы и для уточнения последних необходима экспериментальная проверка.

Избыточное давление газа p в н/м^2 (для любого пневматического перемешивающего устройства), поступающего на перемешивание, в общем виде должно удовлетворять условию

$$p \geq 0,5\rho_g w^2 (1 + \sum \xi) + g\rho_c H_{жс} + p_0, \quad (31.38)$$

где ρ_g — плотность газа при заданных давлении и температуре в кг/м^3 ;

ρ_c — плотность перемешиваемой среды при заданной температуре в кг/м^3 ;

p_0 — давление газовой или паровой среды в аппарате в н/м^2 ;

$H_{жс}$ — высота столба перемешиваемой жидкости в м;

w — скорость газа при движении его по трубе в м/сек ;

$\sum \xi$ — сумма коэффициентов сопротивления трещины и местных потерь при движении газа по трубе и на выходе из последней в перемешиваемую среду.

ПРИВОДЫ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕШИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Для приведения во вращение механических перемешивающих устройств в химических аппаратах служат приводы, где в качестве движущей силы используется главным образом электродвигатель. В последнее время стали также применяться гидروприводы, где в качестве движущей силы используется находящаяся под давлением жидкость (масло).

Существует весьма много различных конструкций приводов, в которых большей частью применяются стандартные многооборотные электродвигатели и типовые механические редукторы для снижения числа оборотов вала перемешивающего устройства до требуемого по расчету.

Наибольшее распространение в химическом аппаростроении получили выносные индивидуальные приводы со стандартными электродвигателями и типовыми редукторами, устанавливаемые на крышке или верхнем днище аппарата.

Ввод вала таких приводов в аппарат обычно должен быть уплотнен вследствие наличия избыточного давления или вакуума в аппарате. Уплотнение вала осуществляется различными способами, зависящими в основном от давления среды в аппарате, требуемой степени герметизации и других специфических условий, предъявляемых к тому или иному аппарату. Любое уплотнение вала в процессе эксплуатации не обеспечивает полную герметизацию указанного соединения и поэтому является слабым местом в такого рода приводах, особенно для аппаратов, в которых перерабатываются взрыво-пожароопасные и токсичные вещества. Отмеченных недостатков лишены так называемые герметические (бессальниковые) приводы,

например с встроенным специальным электродвигателем, находящимся в среде аппарата, со специальным экранированным электродвигателем и др. Такие приводы в эксплуатационных условиях обычно более надежны, чем переделанные выше, хотя им и присущи свои специфические недостатки.

Герметические приводы получают все большее распространение в аппаратах, где необходима полная герметизация, однако преимущественно для многооборотных перемешивающих устройств (турбинных, пропеллерных и др.), не требующих применения редукторов. Эти приводы пока не нормализованы.

32.1 НОРМАЛИЗОВАННЫЕ ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ПРИВОДЫ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕШИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Наиболее широкое применение в химической аппаратуре с перемешивающими устройствами имеют вертикальные выносные приводы. Ниже приведены обобщенные основные данные о таких нормализованных приводах, которыми и надлежит руководствоваться при конструировании указанных аппаратов.

Приводы предназначены для аппаратов емкостью от 1 до 50 м³, изготовляемых из стали углеродистой, легированной и двухслойной. Нормализованные приводы разбиты на девять типов, характеристики которых приведены в табл. 32.1. Основные параметры этих приводов приведены в табл. 32.2—32.6, а конструкция, размеры и другие данные их — в табл. 32.7—32.18.

Таблица 32.1

Характеристика нормализованных вертикальных приводов механических перемешивающих устройств

Номер МН	Тип	Характеристика привода	Мощность, кВт	n , сек ⁻¹ (об/мин)
5855—66	I	С концевой опорой, мотор-редуктором типа МПО2 и электродвигателем серий АО2 и ВАО	0,4—100	0,08—1,335 (5—80)
5856—66	II	С одной промежуточной опорой, мотор-редуктором типов МПО2 и ВО и электродвигателем серий АО2 и ВАО	0,4—75	0,08—3,00 (5—180)
5857—66	III	С концевой опорой низкие, мотор-редуктором типа МПО2 и электродвигателем серий АО2 и ВАО	0,4—100	0,08—1,335 (5—80)
5858—66	IV	С одной промежуточной опорой низкие, мотор-редуктором типов МПО2 и ВО и электродвигателем серий АО2 и ВАО	0,4—75	0,08—3,00 (5—180)
5859—66	V	С двумя промежуточными опорами, мотор-редуктором типа ВО и электродвигателем серий АО2 и ВАО	1,5—100	2,00—6,67 (120—400)
5860—66	VI	С двумя промежуточными опорами низкие, мотор-редуктором типа ВО и электродвигателем серий АО2 и ВАО		
5861—66	VII	С клиноремной передачей и электродвигателем серий АО2 и ВАО	1,1—10	6,67—12,5 (400—750)
5862—66	VIII	С червячным глобоидным мотор-редуктором и электродвигателем серий АО2 и ВАО		
5863—66	IX	С аксиально-поршневым гидромотором (с бесступенчатым регулированием скорости вращения)	5—20	0,02—16,7 (1—1000)

Таблица 32.2

Основные параметры вертикальных приводов типов I—IV (см. табл. 32.1)
(по МН 5855—56 — МН 5858—66)

N, колт	Скорость вращения вала перемешивающего устройства ω , рад/сек (об/мин)															
	0,625 (5)	0,66 (6,3)	0,835 (8)	1,04 (10)	1,31 (12,5)	1,67 (16)	2,09 (20)	2,61 (25)	3,29 (31,5)	4,20 (40)	5,25 (50)	6,60 (63)	8,35 (80)	12,6 (120)	14,1 (135)	18,8 (180)
Типоразмер мотор-редуктора																
0,4	11	—	—	10	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,6	—	11	11	—	—	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,8	15	—	—	11	—	—	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,1	—	15	15	—	11	—	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,5	18	18	18	15	—	11	—	10	10	—	—	—	—	—	—	—
2,2	—	—	—	—	15	15	—	11	—	10	—	—	—	—	—	I
3,0	22	—	—	18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4,0	—	22	—	—	18	18	—	—	—	—	10	10	—	—	—	—
5,5	26	26	—	22	—	—	15	—	11	11	—	—	—	—	—	—
7,5	—	—	26	—	—	—	18	—	15	—	15	—	—	—	—	—
10	30	30	—	26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13	—	—	30	—	22	22	—	18	—	—	15	15	—	—	—	—
17	—	—	—	30	—	—	22	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22	—	—	—	—	30	30	—	22	—	18	18	—	—	—	—	—
30	—	—	—	—	—	—	30	—	26	—	22	22	—	—	—	—
40	—	—	—	—	—	—	—	30	—	26	—	22	—	—	—	—
55	—	—	—	—	—	—	—	—	30	—	26	—	—	—	—	—
75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	30	—	26	—	—	—	—
100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	30	—	—	—	—	—

Таблица 32.3

Основные параметры вертикальных приводов типов V и VI (см. табл. 32.1) (по МН 5859—66 — МН 5860—66)

N, колт	Скорость вращения вала перемешивающего устройства ω , рад/сек (об/мин)					
	12,6 (120)	14,1 (135)	18,8 (180)	24,0 (270)	39,7 (380)	41,8 (400)
Обозначение привода и типоразмер мотор-редуктора						
	V	VI	V	VI	V	VI
1,5	—	—	—	—	—	—
2,2	—	—	—	—	—	—
3,0	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 32.3

N, кат.	Скорость вращения вала перемещающего устройства ω , рад/сек (об/мин)											
	13,6 (120)		14,1 (135)		18,8 (180)		23,0 (270)		39,7 (380)		41,8 (400)	
	Обозначение привода и типоразмер мотор-редуктора											
	V	VI	V	VI	V	VI	V	VI	V	VI	V	VI
4,0					4.II 6.II	5.II 7.II 23.II 25.II						
5,5			4.II 6.II	5.II 7.II 23.II 25.II							1.1 3.1	1.1 2.1 4.1 19.1 20.1 22.1
7,5					4.II 6.II	5.II 6.II 23.II 25.II	4.II 6.II					
10			7.III 9.III	8.III 10.III 26.III 28.III				3.II 5.II 7.II 21.II 23.II 25.II				
13			10.IV 12.IV 15.IV	11.IV 13.IV 16.IV 29.IV 31.IV 34.IV	7.III 9.III	8.III 10.III 26.III 28.III	2.II 4.II 6.II		2.II 4.II 6.II		3.II 5.II 7.II 21.II 23.II 25.II	
17	18.V 16.V	14.V 17.V 32.V 35.V										
22			13.V 16.V	14.V 17.V 32.V 35.V	12.IV 15.IV	13.IV 16.IV 31.IV 34.IV	5.III 7.III 9.III	6.III 8.III 10.III 24.III 26.III 28.III		5.III 7.III 9.III	6.III 8.III 10.III 24.III 26.III 28.III	
30					13.V 16.V	14.V 17.V 32.V 35.V						
40												
55			17.VI	18.VI 36.VI	14.VI 17.VI	15.VI 18.VI 33.VI 36.VI	11.V 13.V 16.V	12.V 14.V 17.V 30.V 32.V 35.V	8.IV 10.IV 12.IV 15.IV		9.IV 11.IV 13.IV 16.IV 27.IV 29.IV 31.IV	
75							14.VI 17.VI	15.VI 18.VI 33.VI 36.VI	11.V 13.V 16.V		12.V 14.V 17.V 30.V 32.V 35.V	
100												

Основные параметры вертикальных приводов типа VII (см. табл. 32.1) (по МН 5861—66)

Таблица 32.4

N, кат.	Скорость вращения вала перемещающего устройства ω , рад/сек (об/мин)								N, кат.	Скорость вращения вала перемещающего устройства ω , рад/сек (об/мин)							
	41,8 (400)		52,2 (500)		65,8 (630)		78,5 (750)			41,8 (400)		52,2 (500)		65,8 (630)		78,5 (750)	
	Обозначение привода									Обозначение привода							
1,1									4,0								
1,5	1	5							5,5	4	8	3	7	2	6	2	6
2,2			1	5					7,5			4	8	3	7	3	7
3,0	2	6			1	5			10					4	8	4	8

Основные параметры вертикальных приводов типа VIII (см. табл. 32.1) (по МН 5862—66) Таблица 32.5

N, кат	Скорость вращения вала перемешивающего устройства ω , рад/сек (об/мин)												
	0,835 (8)	1,04 (10,0)	1,30 (12,5)	1,67 (16,0)	2,09 (20,0)	2,61 (25,0)	3,29 (31,5)	4,18 (40,0)	5,22 (50,0)	6,60 (63,0)	8,35 (80,0)	10,4 (100)	13,0 (125)
Типоразмер мотор-редуктора													
1,1	80	80	80	80	80	80	80	—	—	—	—	—	—
1,5	100	100	100	100	100	100	100	—	—	—	—	—	—
2,2	125	125	125	125	125	125	125	—	—	—	—	—	—
3,0	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4,0	160	160	160	160	160	160	160	—	—	—	—	—	—
5,5	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
10	—	—	—	—	—	—	—	160	160	160	160	160	160

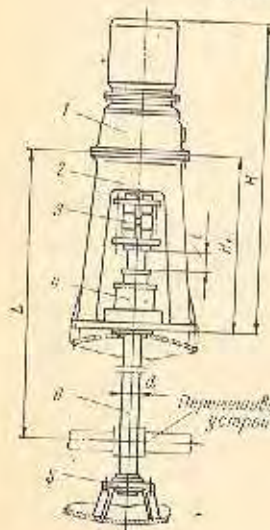
Основные параметры вертикальных приводов типа IX (см. табл. 32.1) (по МН 5863—66) Таблица 32.6

Обозначение привода	Типоразмер гидромотора	M_K^* , н·м		N, кат	Скорость вращения вала перемешивающего устройства ω , рад/сек (об/мин)			
		при скорости вращения			Номинальная	Максимальная	Минимальная при регулировании	
		номинальной	максимальной				на входе	на выходе
1	50	50	35	5	104,5 (1000)	157 (1500)	2,09 (20)	0,209 (2)
2	100	100	80	10		136 (1300)		0,1045 (1)
3	200	200	200	20		104,5 (1000)	1,045 (10)	

* M_K — крутящий момент на валу перемешивающего устройства.

Таблица 32.7

Приводы вертикальные с концевой опорой вала (тип I) (по МН 5855—66)



Условное обозначение привода 3 с $N=1,5$ кат, $\omega=1,04$ рад/сек: «Привод 3-1,5-1,04 МН 5855—66».

Перемешивающее устройство

Продолжение табл. 32.7

Обозначение привода	Типоразмер мотор-редуктора	мм					Масса, кг	р, н
		d	H	H ₁	L, не менее	L, не более		
1	10	40	1000	565	40	2000	180	4 900
2	11	50	1360	550	50	3200	230	6 950
3	15	65	1625	650	60	5700	440	9 800
4	18	80	1910	700	70	—	765	15 700
5	22	95	2220	800	80	—	962	23 500
6	26	110	2440	900	90	8700	1640	29 400
7	30	130	2690	1000	100	—	2010	39 200

Примечания:

1. В комплект привода входят: 1 — мотор-редуктор по МН 5534—64 или каталогу завода «Тамбовхиммаш»; 2 — стойка; 3 — муфта по МН 5871—66; 4 — уплотнение по МН 5866—66 — МН 5868—66; 5 — опора вала концевая по МН 5864—66 — МН 5865—66; 6 — вал перемешивающего устройства.

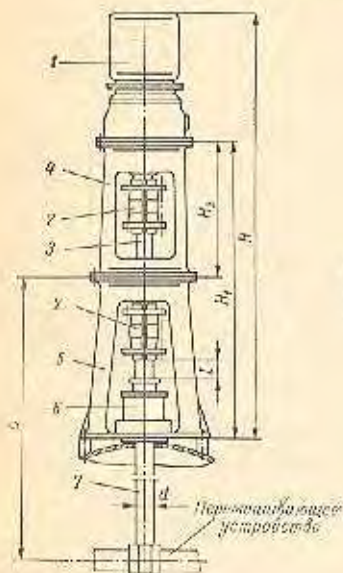
2. Основные параметры приводов N и ω см. в табл. 32.2.

3. Конструкцию и размеры опорной части привода см. в табл. 32.16.

* p — допустимая осевая нагрузка на вал.

Таблица 32.8

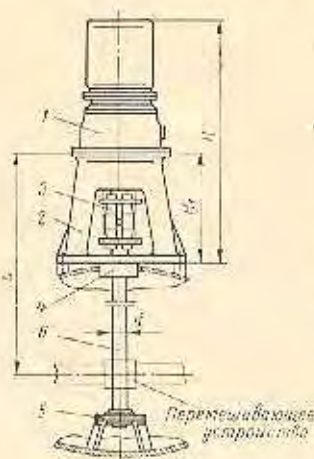
Приводы вертикальные с одной промежуточной опорой вала (тип II) (по МН 5856—66)



Условное обозначение привода 4 с $N = 17$ кет, $\omega = 12,6$ рад/сек: «Привод 4-17-12,6 МН 5856—66».

Таблица 32.9

Приводы вертикальные с концевой опорой вала (тип III) (по МН 5857—66)



Условное обозначение привода 3 с $N = 1,5$ кет, $\omega = 1,04$ рад/сек: «Привод 3-1,5-1,04 МН 5857—66».

Обозначение привода	Типоразмер мотор-редуктора	d	H	H ₁	H ₂	Масса, кг	P, н
1	II	50	2108	1000	450	390	3 230
2	III	65	2308	1120	470	520	4 200
3	IV	80	2619	1335	635	995	6 350
4	V	95	2885	1480	680	1510	8 300
5	VI	110	3572	1750	850	1825	14 700
6	10	50	1520	1000	450	265	4 900
7	11		1810			340	6 950
8	11	65	2010	1120	470	640	9 800
9	15	80	2310	1335	635	665	
10	18	95	2700	1480	680	1125	15 700
11	22	110	3240	1750	850	1400	23 500
12	26	130	3490	1950	950	2175	29 400

Примечания:

1. В комплект привода входят: 1 — мотор-редуктор по МН 5534—64 или каталогу завода «Тамбовхиммаш»; 2 — муфта по МН 5871—66 (2 шт.); 3 — вал промежуточный; 4 — стойка по МН 5856—66; 5 — стойка по МН 5855—66; 6 — уплотнение по МН 5886—66—МП 5870—66; 7 — вал перемешивающего устройства.

2. Основные параметры приводов N и ω см. в табл. 32.2.

3. Значения (для соответствующих d) L при $\omega \leq 8,35$ рад/сек (80 об/мин) и l см. в табл. 32.7; значения L при $\omega > 12,6$ рад/сек (120 об/мин) см. в табл. 32.17.

4. Конструкцию и размеры опорной части привода см. в табл. 32.16.

* P — допустимая осевая нагрузка на вал (воспринимается опорами выходного вала мотор-редуктора).

Обозначение привода	Типоразмер мотор-редуктора	d	H	H ₁	Масса, кг
1	10	40	810	400	150
2	11	50	1150	480	200
3	15	65	1345		415
4	18	80	1600	520	725
5	22	95	1920	630	930
6	26	110	2050	760	1560
7	30	130	2320	840	1940

Примечания:

1. В комплект привода входят: 1 — мотор-редуктор по МН 5534—64 или по каталогу завода «Тамбовхиммаш»; 2 — стойка по МН 5857—66; 3 — муфта по МН 5871—66; 4 — уплотнение по МН 5869—66 и МН 5870—66; 5 — опора вала концевая по МН 5864—66—МН 5865—66; 6 — вал перемешивающего устройства.

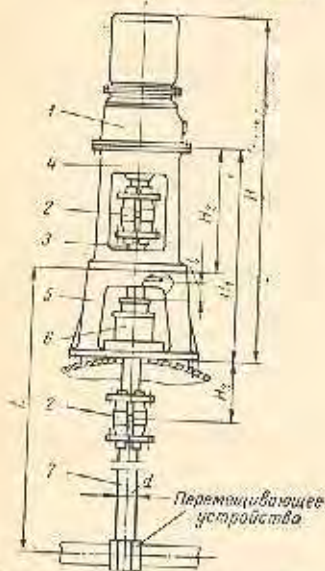
2. Основные параметры приводов N и ω см. в табл. 32.2.

3. Значения (для соответствующих d) L , l и P (допускаемая осевая нагрузка на вал) см. в табл. 32.7.

4. Конструкцию и размеры опорной части привода см. в табл. 32.16.

Таблица 32.10

Приводы вертикальные
с одной промежуточной опорой вала (тип IV)
(по МН 5858—66)



Условное обозначение привода 3 с $N = 10 \text{ кат}$, $\omega = 14,1 \text{ рад/сек}$:
«Привод 3-10-14,1
МН 5858—66».

Обозначение привода	Типоразмер мотор-редуктора	мм				Масса, кг	P^* , к
		d	H	H_1	H_2		
1	I	40	1519	745		350	2 450
2	II	50	1898	850	250	380	3 230
3	III	65	2028	950		500	4 200
4	IV	80	2309	1155	300	965	6 350
5	V	95	2585	1310	370	1170	8 300
6	VI	110	3182	1610	450	1475	14 700
7	10	50	1310	850		205	4 900
8	II	65	1600	250		235	6 950
9		730	255				
10	15	80	1815			580	9 800
11		2000	1155	300	620		
12	18	95	2400	1310	370	1095	15 700
13	22	110	2850	1610	450	1360	23 500
14	26	130	3120	1790	500	2125	29 400
15	I	40	1519	745		335	2 450
16	II	50	1898	850		365	3 230
17	III	65	2028	950		477	4 200
18	IV	80	2309	1155		942	6 350
19	V	95	2585	1310		1134	8 300
20	VI	110	3182	1610		1418	14 700
21	10	50	1310	850		190	4 900
22	11	1600				220	6 950

Продолжение табл. 32.10

Обозначение привода	Типоразмер мотор-редуктора	мм				Масса, кг	P^* , к
		d	H	H_1	H_2		
23	11		1730	950		240	6 950
24	15	65	1815			557	9 800
25		80	2000	1155		597	
26	18	95	2400	1310		1059	15 700
27	22	110	2850	1610		1303	23 500
28	26	130	3120	1790		2034	29 400

Примечания:

1. В комплект приводов 1—14 входят: 1 — мотор-редуктор по МН 5334—64 или по каталогу завода «Тимбовхимаш»; 2 — муфта по МН 5871—66 (2 шт.); 3 — вал промежуточный; 4 — стойка по МН 5856—66; 5 — стойка по МН 5857—66; 6 — уплотнение по МН 5886—66—МН 5870—66; 7 — вал переключательного устройства. В комплект приводов 15—28 входят те же узлы, что и в приводы 1—14, за исключением одной (нижней) муфты и промежуточного вала.

2. Основные параметры приводов N и ω см. в табл. 32.2.

3. Значения L (для соответствующих d) L при $\omega \leq 8,35 \text{ рад/сек}$ (30 об/мин) и 1 см. в табл. 32.7; H_2 — в табл. 32.8; значения L при $\omega \geq 12,6 \text{ рад/сек}$ (120 об/мин) см. в табл. 32.17.

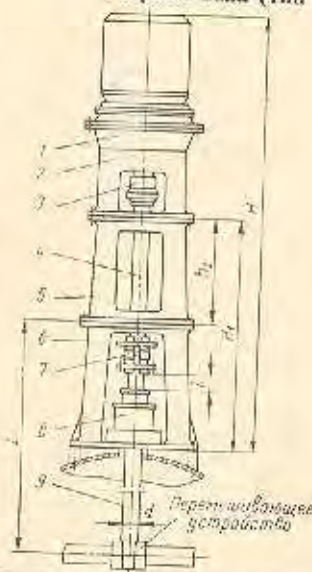
4. Конструкцию и размеры опорной части привода см. в табл. 32.16.

5. Привод 1 стойки 4 не имеет.

* P — допускаемая осевая нагрузка на вал.

Таблица 32.11

Приводы вертикальные с двумя промежуточными опорами вала (тип V) (по МН 5859—66)



Условное обозначение привода 3 с $N = 1,5 \text{ кат}$, $\omega = 18,8 \text{ рад/сек}$: «Привод 3.1-1,5-18,8 МН 5859—66».

Обозначение привода	Типоразмер мотор-редуктора	мм				Масса, кг	P^* , к
		d	H	H_1	H_2		
1	I		2094	860	310	380	7 000
2	II	50	2358			400	

Продолжение табл. 32.11

Обозначение привода	Типоразмер мотор-редуктора	d	H	H ₁	H ₂	Масса, кг	P*, к
3	I		2474			538	
4	II	65	2738	1160	510	659	11 200
5	III		2768			700	
6	II		2928			690	
7	III	80	2958	1350	650	836	17 800
8	IV		3149			1079	
9	III		3143			836	
10	IV	95	3334	1525	725	980	11 100
11	V		3435			1230	
12	IV		3669			973	
13	V	110	3770	1790	890	1180	10 400
14	VI		4202			1570	
15	IV		3839			2143	
16	V	130	3940	1950	950	2257	7 500
17	VI		4372			2740	

Примечания:

1. В комплект привода входят: 1 — мотор-редуктор по каталогу завода «Тамбовхиммаш»; 2 — переходник; 3 — муфта по МН 5672—66; 4 — вал промежуточный; 5 — стойка по МН 5859—66; 6 — стойка по МН 5855—66; 7 — муфта по МН 5871—66; 8 — уплотнение по МН 5866—66—МН 5870—66; 9 — вал перемешивающего устройства.

2. Основные параметры приводов N и ω см. в табл. 32.3.

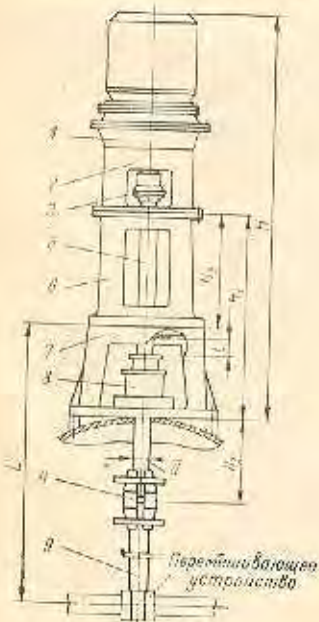
3. Значения L (для соответствующих d) L, см. в табл. 32.17, а l — в табл. 32.7.

4. Конструкцию и размеры опорной части привода см. в табл. 32.16.

* P — допускаемая осевая нагрузка на вал (воспринимается верхней промежуточной опорой).

Таблица 32.12

Приводы вертикальные с двумя промежуточными опорами низкие (тип VI) (по МН 5860—66)



Условное обозначение привода 3
с $N = 10$ квт, $\omega = 39,7$ рад/сек.
«Привод 3. II-10-39,7 МН 5860—66».

Продолжение табл. 32.12

Обозначение привода	Типоразмер мотор-редуктора	d	H	H ₁	Масса, кг	P*, к
1					240	4 400
2	I	40	1724	—	1894	350
3	II	50	2148	710	370	7 000
4	I		2194		468	
5	II	65	2458	990	589	11 200
6	III		2488		640	
7	II		2618		620	
8	III	80	2648	1170	766	17 800
9	IV		2839		1000	
10	III		2843		754	
11	IV	95	3034	1345	900	11 100
12	V		3135		1148	
13	IV		3279		833	
14	V	110	3380	1650	1040	10 400
15	VI		3812		1430	
16	IV		3469		2000	
17	V	130	3570	1790	2117	7 500
18	VI		4002		2680	
19		40	1724	—	220	4 400
20	I		1894		330	
21	II	50	2148	710	350	7 000
22	I		2194		468	
23	II	65	2458	990	589	11 200
24	III		2488		640	
25	II		2618		620	
26	III	80	2648	1170	766	17 800
27	IV		2839		1000	
28	III		2843		754	
29	IV	95	3034	1345	900	11 100
30	V		3135		1148	
31	IV		3279		833	
32	V	110	3380	1650	1040	10 400
33	VI		3812		1430	
34	IV		3469		2000	
35	V	130	3570	1790	2117	7 500
36	VI		4002		2680	

Примечания:

1. В комплект приводов 1—18 входят: 1 — мотор-редуктор по каталогу завода «Тамбовхиммаш»; 2 — переходник по МН 5859—66; 3 — муфта по МН 5872—66; 4 — муфта по МН 5871—66; 5 — вал промежуточный; 6 — стойка по МН 5856—66; 7 — стойка по МН 5857—66; 8 — уплотнение по МН 5866—66—МН 5870—66; 9 — вал перемешивающего устройства. В комплект приводов 19—36 входят те же узлы, что и в приводах 1—18, за исключением муфты 3 и вала промежуточного 5.

2. Основные параметры приводов N и ω см. в табл. 32.3.

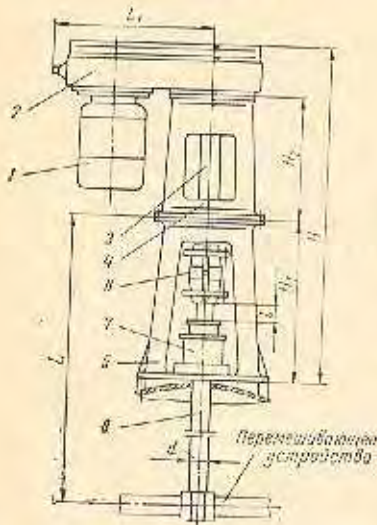
3. Значения L (для соответствующих d) L, см. в табл. 32.17, l — в табл. 32.7, H₁ — в табл. 32.11, H₂ — в табл. 32.10.

4. Конструкцию и размеры опорной части привода см. в табл. 32.16.

* P — допускаемая осевая нагрузка на вал (воспринимается верхней промежуточной опорой).

Таблица 32.13

Приводы вертикальные
с клиноременной передачей (тип VII)
(по МН 5861—66)



Условное обозначение привода 2 с электродвигателем серии АО2
 $N = 3$ квт, $\omega = 52,2$ рад/сек;
«Привод 2-3-52,2 МН 5861—66».

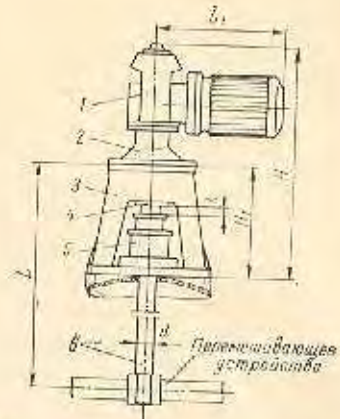
Обозначение привода	d	H	H_1	L_1	Масса, кг	P^* , н
	мм					
1	50	1100	860	555	192	7 000
2	65	1490	1160	670	408	11 200
3	80	1720	1350	750	598	17 800
4	95	1955	1525	825	809	11 100
5	50	890	710	555	162	7 000
6	65	1210	990	670	383	11 200
7	80	1410	1170	750	588	17 800
8	95	1655	1355	825	776	11 100

Примечания:
1. В комплект приводов 1—4 входит: 1 — электродвигатель серии АО2 по ГОСТу 13859—66; 2 — клиноременная передача; 3 — вал промежуточный; 4 — стойка по МН 5859—66; 5 — стойка по МН 5855—66; 6 — муфта по МН 5871—66; 7 — уплотнение по МН 5860—66—МН 5870—66; 8 — вал переходящего устройства. В комплект приводов 5—8 входят те же узлы, что и в приводы 1—4, но электродвигатель серии ВАО по ГОСТу 13859—66.
2. Основные параметры приводов N и ω см. в табл. 32.4.
3. Значения (для соответствующих d) L — см. в табл. 32.17, L_1 — в табл. 32.7, H_2 — в табл. 32.11.
4. Конструкцию и размеры опорной части привода см. в табл. 32.15.

* P — допускаемая осевая нагрузка на вал.

Таблица 32.14

Приводы вертикальные с угловой передачей (тип VIII)
(по МН 5862—66)



Условное обозначение привода 2 с электродвигателем серии АО2, $N = 3$ квт, $\omega = 1,67$ рад/сек;
«Привод 2-3-1,67 МН 5862—66».

Обозначение привода	Типоразмер мотор-редуктора	d	H	H_1	L_1	L^*	Масса, кг
		мм					
1	80	50	975	400	510	3200	156
2	100	65	1130	480	690	3700	319
3	125						
4	160	80	1360	520	780	4200	545

Примечания:
1. В комплект привода входит: 1 — мотор-редуктор; 2 — переходник; 3 — стойка по МН 5857—66; 4 — муфта по МН 5871—66; 5 — уплотнение по МН 5860—66—МН 5870—66; 6 — вал переходящего устройства.
2. Основные параметры приводов N и ω см. в табл. 32.5.
3. Значения L при $\omega \geq 12,6$ рад/сек (120 об/мин) см. в табл. 32.17, L_1 — в табл. 32.7.
4. Конструкцию и размеры опоры привода см. в табл. 32.15.

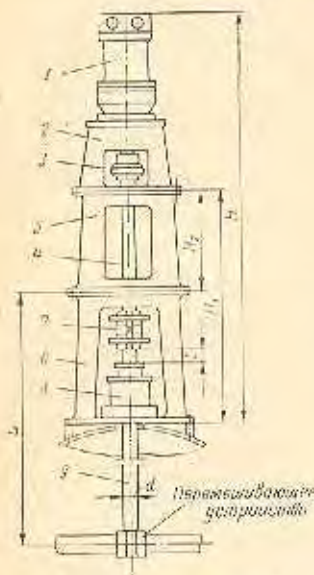
* При $\omega \leq 10,4$ рад/сек (100 об/мин).

Таблица 32.15

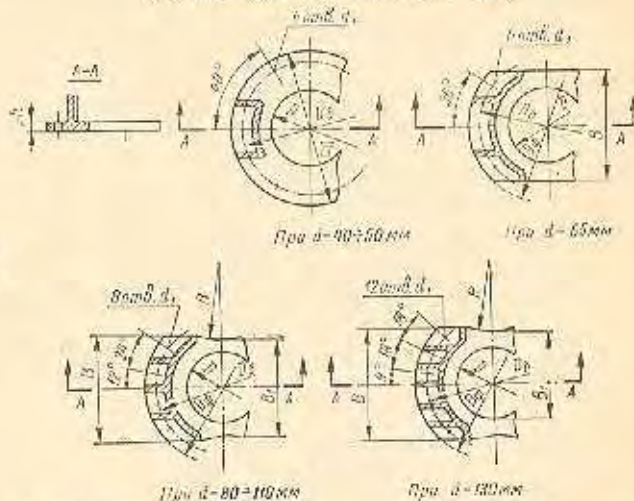
Приводы вертикальные с гидромотором (тип IX)
(по МН 5863—66)

Таблица 32.16

Опорная часть вертикальных приводов
перемешивающих устройств
(по МН 5855—66—МН 5863—66)



Условное обозначение привода 2 с гидромотором $M_K = 100$ н·м: «Привод 2-100 МН 5863—66».



Обозначение привода	d	H	H ₁	L*	Масса, кг
1	65	1798	1160	5700	293
2	80	1106	1350	8700	456
3	95	2441	1525		595

Примечания:
1. В комплект привода входят: 1 — гидромотор по МН 5850—65; 2 — переходник; 3 — муфта по МН 5872—66; 4 — вал промежуточный по МН 5859—66; 5 — стойка по МН 5859—66; 6 — стойка по МН 5855—66; 7 — муфта по МН 5871—66; 8 — уплотнение по МН 5866—66—МН 5870—66; 9 — вал перемешивающего устройства.

2. Основные параметры приводов M_K , N и ω см. в табл. 32.6.

3. Знакения (для соответствующих d) L при $\omega \geq 12,6$ рад/сек (120 об/мин) см. в табл. 32.17. l — в табл. 32.7, H₁ — в табл. 32.11.

4. Конструкцию и размеры опоры привода см. в табл. 32.16.

* При $\omega \leq 9,1$ рад/сек (88 об/мин).

d	D _ф	D _б	D	B	B ₁	R	d ₁	h
мм								
40	330	300	185	—	—	—	14	20
50	390	350	205	—	—	—	18	25
65	480	435	235	320	—	—	23	30
80	615	570	260	400	350	600	25	35
95	750	700	290	500	420	540	27	40
110	900	840	315	600	480	500	27	40
130	1000	930	340	750	520	260	34	—

Таблица 32.17

Вылеты консольных валов (расчетные) приводов перемешивающих устройств при скорости вращения вала $\omega = 12,6 + 78,5$ рад/сек
(по МН 5856—66, МН 5858—66 — МН 5863—66)

ω , рад/сек (об/мин)	d _н	d	L	ω , рад/сек (об/мин)	d _н	d	L	ω , рад/сек (об/мин)	d _н	d	L
	мм				мм				мм		
12,6 (120)	400	65	3400	14,1 (135)	800	95	3700	39,7 (380)	300	50	1700
	500		3200			110	4000		400	65	
	600		3100			130	4400		500	65	

Продолжение табл. 32.17

ω , рад/сек (об/мин)	d_M	d	L	ω , рад/сек (об/мин)	d_M	d	L	ω , рад/сек (об/мин)	d_M	d	L				
	мм				мм				мм						
12,6 (120)	600	80	3800	14,1 (135)	900	95	3400	39,7 (380)	600	80	1900				
		95	4300			110	3900			95	2200				
		110	4800			130	4300			110	2500				
		130	5200			130	4300			130	2800				
	700	80	3700		18,8 (180)	1000	110		3800	41,8 (400)	300	40	1200		
		95	4200				130		4200			50	1600		
		110	4700				300		40			1900	65	1900	
		130	5100						50			2500	80	2100	
	800	95	4100	400		500	65	2500	400		65	1600			
		110	4400				600	80			2900	80	2000		
		130	4800					95			3300	95	2100		
		130	4600				110	3500			130	4100	500	95	2100
900	95	3900	700	800		95	3000	52,5 (500)	300		50	1300			
	110	4300				110	3300				65	1700			
	130	4600				130	3700				80	2000			
	1000	110				4100	800				95	3600	400	65	1600
		130			4500	110				3900	80	1900			
13,0 (125)	300	50		3300	28,0 (270)	300	40		1600	65,8 (630)	300	50	1100		
	400	65		3000			50		2000			65	1500		
	500			3400			65		2300			80	1700		
	600	80		3200			400		65			2000	400	65	1300
	700			3800					80			2100		80	1500
14,1 (135)	300	50		2800		600	600		80	2100	78,5 (750)	300	50	1000	
		65		2600					95	2500			65	1300	
			3300	100				2800	80	1500					
		500	3100	130				3400	95	1700			400	65	1100
	600	80	3000	700			80	2000	700	80		1300			
		95	3500				95	2400		95		1700			
		110	4200				110	2900		400		65		1100	
		130	4900		130		3300	80				1300			
	700	80	3100	700	80		2000	700	80	1300					
		95	3800		95		2400		95	1500					
		110	4100		110		2900		400	65		1100			
		130	4700		130		3300			80		1300			

 d_M — диаметр перемивающего устройства; d — диаметр консольного вала перемивающего устройства; L — наибольший допустимый вылет консольного вала.

Таблица 32.18

Промежуточные опоры вала
в вертикальных приводах перемешивающих устройств
(по МН 5856—66, МН 5858—66—МН 5863—66)

d, мм	A		Типы привода							
	A	A ₁	Типы привода							
			ГОСТ 8545—57		ГОСТ 8338—57		ГОСТ 3545—57			
	мм		Верхняя штора		Нижняя опора					
			II и IV	V-VI и IX	VIII	II и IV	V-VI и IX	VIII	V-VI и IX	VIII
40	330	200	—	11 308	307	—	11 308	—	—	—
50	430	355	355	11 310	309	—	11 310	11 310	11 310	11 310
65	530	570	440	11 313	312	407	11 313	11 313	11 313	11 313
80	650	690	530	11 316	314	410	11 316	11 316	11 316	11 316
95	750	770	—	11 319	318	—	11 319	—	—	—
110	850	950	—	13 522	320	—	13 522	—	—	—
130	1050	1050	—	13 528	324	—	13 528	—	—	—

d — диаметр вала привода;
A — расстояние между промежуточной опорой и опорой вала мотор-редуктора;
A₁ — расстояние между опорами промежуточного вала привода.

Указанные приводы не распространяются на аппараты с антикоррозионным покрытием (эмалирование, гуммирование и т. п.).

Для аппаратов, в которых перерабатываются коррозионные и абразивные среды, применение приводов с концевой опорой не допускается.

Номинальная расчетная мощность N'_s в кВт на валу электродвигателя привода определяется по формуле

$$N'_s = \frac{N'_m}{\eta_n} \quad (32.1)$$

где N'_m — расчетная мощность, расходуемая на перемешивание (см. гл. 31), в кВт;

η_n — коэффициент полезного действия привода, находится в пределах 0,9—0,98.

Нормализованный привод выбирается таким образом, чтобы его номинальная мощность была ближайшей большей N'_s , а скорость вращения выходного вала соответствовала требуемой для перемешивающего устройства.

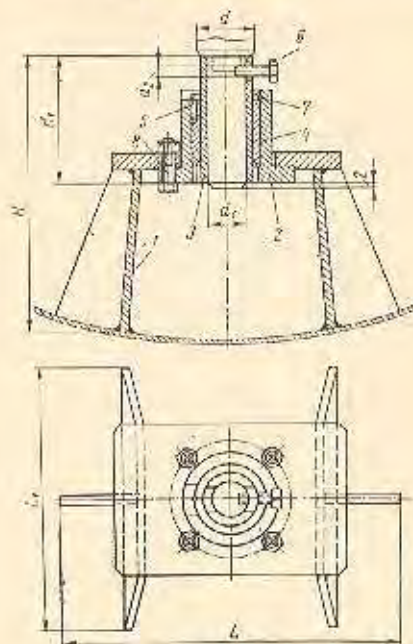
32.2. ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ НОРМАЛИЗОВАННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПРИВОДОВ

К основным узлам нормализованных вертикальных приводов относятся концевые опоры и уплотнения вала перемешивающего устройства в аппарате, соединительные муфты для валов и конструкции их кошлов.

Опоры концевые применяются в аппаратах для сред, не обладающих абразивными свойствами, и при скорости вращения перемешивающего устройства не более 10,45 рад/сек (100 об/мин). Основные данные о нормализованных концевых опорах приведены в табл. 32.19.

Таблица 32.19

Опоры концевые внутренние
для вертикальных валов перемешивающих устройств
(по МН 5864—66)



Условное обозначение опоры для d = 50 мм из углеродистой стали (исполнение I): «Опора 50.1 МН 5864—66».

d	d ₁	A ₁	H	H ₁	L	L ₁	Масса, кг
мм							
40	30	M8	208	90	260	200	5,4
50							
65	50		253	110	320	250	10,2
80							
95	80	M10	370	155	460	320	25,6
110							
130							

Примечания:

1. Опоры должны изготавливаться в двух исполнениях: 1 — для аппаратов из углеродистой стали; 2 — для аппаратов из коррозионностойкой и двухслойной (с коррозионностойким слоем) стали.

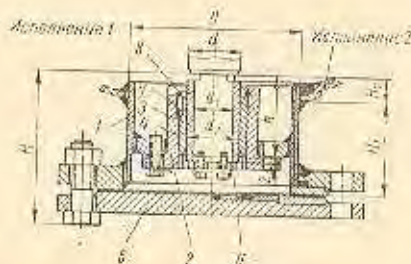
2. Материал: для исполнения 1 — титановые детали — титан, бронза, графит, капрон, текстолит, фторопласт-4; остальные детали — углеродистая сталь; для исполнения 2 — все детали из материалов химически и коррозионностойких в обрабатываемой среде.

3. В комплект опоры входят: 1 — стойка; 2 — подшипник; 3 — втулка подвижная; 4 — втулка неподвижная; 5 — штифт стопорный; 6 — болт; 7 — кольцо; 8 — болты с гайками.

(для внутренних) и в табл. 32.20 (для наружных). Наружные опоры применяются при избыточном давлении среды в аппарате не более $0,6 \text{ МПа/м}^2$.

Таблица 32.20

Опоры концевые наружные для вертикальных валов перемешивающих устройств (по МН 5865—86)



Условное обозначение опоры с $d = 50 \text{ мм}$ для аппаратов из углеродистой стали (исполнение 1): «Опора 50.1 МН 5865—86».

d	d ₁	d ₂	D		H	H ₁	H ₂	h	Масса, кг	
			Исполнение 1	Исполнение 2					1	2
мм										
40	30	40	133	146	117	70	20	65	14,6	15,3
50	40	50	159	166	147	75	45	90	19,9	21,0
65	50	60	189	199	177	80	50	110	27,2	28,5
80	60	70	219	229	207	85	55	130	36,6	38,1
95	70	80	249	259	227	90	60	150	47,0	48,6
110	80	90	279	289	257	95	65	170	59,4	61,1
130	100	110	339	349	317	105	75	200	84,6	87,4

Примечания:
1. Опоры должны изготавливаться в двух исполнениях: 1 — для аппаратов из углеродистой стали; 2 — для аппаратов из коррозионностойкой и двухслойной (с коррозионностойким слоем) стали.
2. Материалы для исполнения 1 — трущиеся детали — чугун, бронза, графит, капрон, текстолит, фторпласт-4; остальные детали — углеродистая сталь; для исполнения 2 — все детали из материалов химически и коррозионностойких в обрабатываемой среде.
3. В комплект опоры входят: 1 — корпус, 2 — подшипник, 3 — втулка подвижная, 4 — втулка неподвижная, 5 — крышка, 6 — плавик, 7 — штифт стопорный, 8 — кольцо и крепежные детали.

Уплотнение вала перемешивающего устройства в аппарате осуществляется с помощью торцовых, сальниковых и манжетных уплотнений, а также гидрозатворов.

Торцовые уплотнения применяются в аппаратах, работающих под избыточным давлением до $1,6 \text{ МПа/м}^2$, вакуумом с остаточным давлением не менее $0,002 \text{ МПа/м}^2$, при температуре в аппарате до 260°C и скорости коррозии уплотнительных материалов в среде не более $0,03 \text{ мм/год}$. Заполнение всего объема аппарата продуктом или его парами, которые могут в процессе ра-

боты полимеризоваться на поверхностях трения в уплотнении, не допускается.

В табл. 32.21 приведены основные данные о нормализованных торцовых уплотнениях вала привода.

Для пар трения в этих уплотнениях могут применяться материалы трех групп: А, Б и В.

Группа А: углеграфиты (пропитанные фенолформальдегидной смолой или фуриловым спиртом) марок АО-1500 по ВТУ 603—58; АГ-1500 по ВТУ 602—58; 2П-1000 по ВТУ 35-ЭП-61—62; ТДНО (ЭГ-30) по ВТУ предприятия-изготовителя; любимит (графитоласт на основе фенолформальдегидной смолы) по ВТУ предприятия-изготовителя.

Группа Б (металлы и их сплавы): стали марок Х18Н10Т, Х18Н12М2Т, 4Х13; 9Х18; стеллит, сормайт, сплав Хастеллой Д (в виде наплавки на нержавеющей сталь первых двух марок).

Группа В: высокопрочные неметаллы СГ, ситалы 22-18 и С-12-14 по ВТУ предприятия-изготовителя.

Выбор материалов пары трения, из которых один должен быть из группы А, а другой из группы Б или В, определяется химической и коррозионной стойкостью их. Применение углеграфитовых материалов, кроме того, определяется термостойкостью материала пропитки (для фенолформальдегидной смолы — до 130°C , для фурилового спирта и свинца — до 200°C).

Углеграфитовые материалы марок 2П-1000 и АО-1500 в паре со сталью марок Х18Н10Т и Х18Н12М2Т, а также ситалы и любимит Г при температуре выше 100°C и скорости скольжения более 1 м/сек применять не рекомендуется.

Сальниковые уплотнения применяются в аппаратах, работающих под избыточным давлением до $0,1 \text{ МПа/м}^2$ при температуре в аппарате до 70°C . Они неприменимы в случае обработки в аппаратах легколетучих, ядовитых и т. п. сред, а также при вакууме. В табл. 32.22 приведены основные данные о нормализованных сальниковых уплотнениях вала привода.

Манжетные уплотнения применяются в аппаратах, работающих под атмосферным давлением при температуре до 120°C . В табл. 32.23 приведены основные данные о нормализованных манжетных уплотнениях вала привода.

Гидравлические затворы применяются в аппаратах, работающих под наливом. Жидкость в зазорах гидравлического затвора должна выбираться в зависимости от рабочей среды и аппарата. В табл. 32.24 приведены основные данные о нормализованных гидравлических затворах, уплотняющих вал привода.

Соединительные муфты служат для соединения валов в приводах. Нормальными предусматривается применение двух видов муфт: продольно-разъемных и зубчатых.

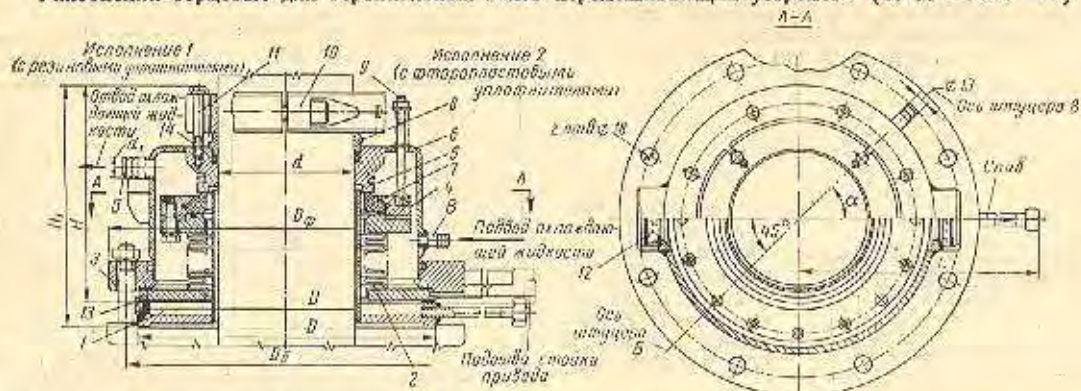
Продольно-разъемные муфты применяются для соединений: выходного вала мотор-редуктора с валом перемешивающего устройства и промежуточным валом при одной промежуточной опоре, вала перемешивающего устройства с промежуточным валом независимо от количества промежуточных опор. В табл. 32.25 приведены основные данные о нормализованных продольно-разъемных муфтах.

Зубчатые муфты применяются для соединения выходных валов мотор-редуктора и гидромотора с промежуточным валом при двух промежуточных опорах. В табл. 32.26 приведены основные данные о нормализованных зубчатых муфтах.

Конструкция концов валов зависит от того, какие узлы с ними сопрягаются — перемешивающее устройство, муфта или концевая опора, а также от их конструкции. В табл. 32.27 приведены основные данные о конце вала мотор-редуктора типа МПОЭ с приставкой.

Таблица 32.21

Уплотнения торцовые для вертикальных валов перемешивающих устройств (по МН 5866—66)



Условное обозначение уплотнения для $d = 50$ мм без уловителя (тип 1) с фторопластовым уплотнителем (исполнение 2) на $p = 0,3$ МПа: «Уплотнение торцовое 50.1.2.0.3 МН 5866—66».

d	d ₁	L	D _φ	D _б	D	H, мм	H ₁ , мм		Масса, кг				z			
							Исполнение									
							2	1	2	1	2	p, МПа				
мм							0,3	1,6	0,3	1,6	0,3	1,6	0,3	1,6		
40	17	175	185	150	128	145	195	170	220	7,5	9,0	9,5	10,0	4	4	
50		220	205	170	148		215	175	240	9,5	11,0	12,0	14,0			
65		230	235	200	178	165	185	185	215	10,5	13,0	13,5	16,0	8	8	
80		245	260	225	202		190	190	215	19,5	22,0	20,5	25,0			
95	20	265	290	255	232	185	210	210	22,0	25,0	—	—	8	8		
110		325	315	280	258	195	—	—	26,0	31,0	—	—				
130		350	340	305	282	205	230	—	35,0	40,0	—	—				

Примечания:

1. Торцовые уплотнения должны изготавливаться двух типов: без уловителя — тип 1, с уловителем — тип 2; каждый тип уплотнения бывает в двух исполнениях: с резиновыми уплотнителями — исполнение 1 — и с фторопластовыми уплотнителями — исполнение 2.

2. Материал: пара трения см. в тексте; детали, соприкасающиеся с обрабатываемой средой, — коррозионностойкая сталь; остальные детали — углеродистая сталь.

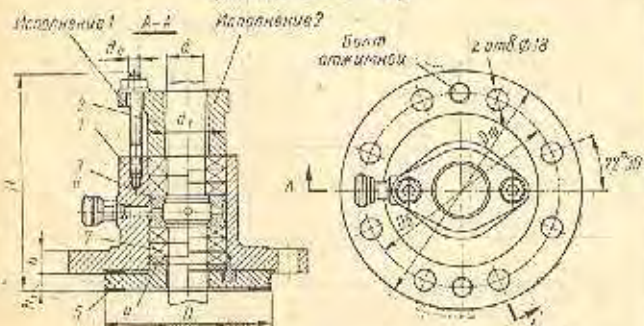
3. В комплект уплотнения входят: 1 — уловитель, 2 — сильфон, 3 — фланец, 4 — кольцо неподвижное, 5 — кольцо подвижное, 6 — крышка, 7 — кольцо прижимное, 8 — втулка сальника, 9 — тяга, 10 — адаптор, 11 — болт, 12 — смотровое окно, 13 — прокладка, 14 — набивка сальника.

4. Угол α для $d = 40$ мм равен $22^\circ 30'$; для $d \geq 50$ мм $\alpha = 45^\circ$.

Таблица 32.22

Продолжение табл. 32.22

Уплотнения сальниковые для вертикальных валов перемешивающих устройств (по МН 5868—66)



Условное обозначение уплотнения с $d = 50$ мм для аппарата из углеродистой стали (исполнение 1): «Уплотнение сальниковое 50.1 МН 5868—66».

d	d ₁	D _φ	D _б	D	H	h	h ₁	d _б	z	Масса, кг
мм										
40	60	185	150	128	168	18	13	M10	4	7,03
50	70	205	170	148	195	20	—	M12	—	10,4
65	90	235	200	178	206	22	16	M16	8	13,9
80	105	260	225	202					19,7	
95	120	290	255	232	236	24	16	M16	8	24,1
110	140	315	280	258					33,1	
130	160	340	305	282					41,3	

Примечания:

1. Уплотнения должны изготавливаться в двух исполнениях: 1 — для аппаратов из углеродистой стали; 2 — для аппаратов из коррозионностойкой и duplex-стали (с коррозионностойким слоем) стали.

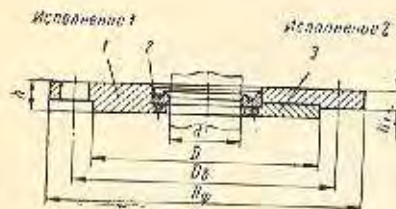
2. Материал: для исполнения 1 — корпус 1 и втулка 2 — чугун, остальные металлические детали — углеродистая сталь; для исполнения 2 — металлические детали, соприкасающиеся со средой, — коррозионностойкая сталь, остальные — так же, как и в исполнении 1.

3. В комплект уплотнения входят: 1 — корпус, 2 — втулка, 3 — кольцо, 4 — кольцо, 5 — диск, 6 — масленка, 7 — набивка и крепежные детали.

Таблица 32.23

Продолжение табл. 32.23

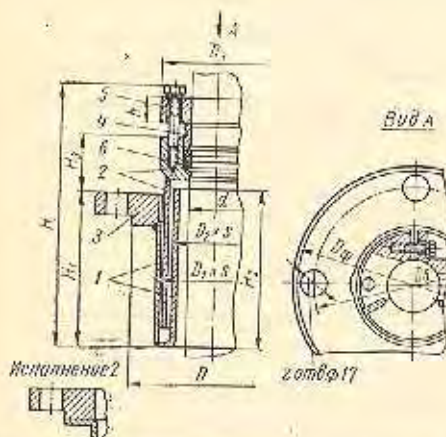
Уплотнения манжетные для вертикальных валов перемешивающих устройств (по МН 5869—66)



Условное обозначение уплотнения с $d = 50$ мм для аппарата из углеродистой стали (исполнение 1): «Уплотнение манжетное 50.1 МН 5869—66».

d	h		Масса, кг
	мм		
40	20	22	2,66
50			3,32
65			4,25
80			5,18
95			6,35
110	22	14	8,6
130			9,5

Примечания:
 1. Уплотнения должны изготавливаться в двух исполнениях: 1 — для аппаратов из углеродистой стали; 2 — для аппаратов из коррозионностойкой и двухслойной (с коррозионностойким слоем) стали.
 2. Материал: для исполнения 1 — фланец 1 из углеродистой стали, манжета 2 — по ГОСТу 8752—61; для исполнения 2 — то же, что и для исполнения 1, с введением диска 3 из коррозионностойкой стали.
 3. Значения D_{ϕ} , D_{δ} , D и z см. в табл. 32.22.
 4. В комплект уплотнения входят: 1 — фланец, 2 — манжета, 3 — диск (только для исполнения 2).



Затворы гидравлические для вертикальных валов перемешивающих устройств (по МН 5870—66)

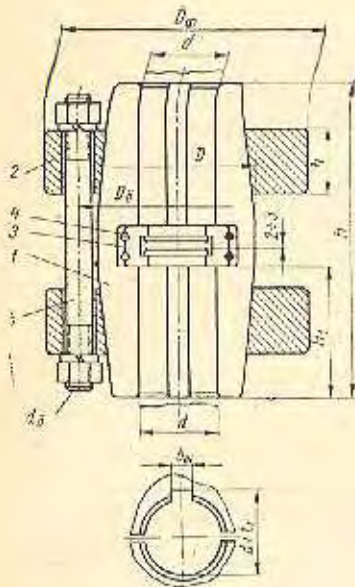
Условное обозначение затвора с $d = 50$ мм для аппаратов из углеродистой стали (исполнение 1): «Затвор гидравлический 50.1 МН 5870—66».

d	$D_1 \times s$	$D_2 \times s$	D_3	H	H_1	H_2	H_3	h	Масса, кг
40	89×4	57×3,5	85	200	120	125	45	20	6,5
50	108×4	76×4	100	240	150	155			9,0
65	133×4	89×4	120	260	170	180	50	25	13,0
80	159×4,5	108×4	140	300	200	205			19,0
95	194×4	133×4	160	320	220	230	60	32	23,7
110			180	355	245	250			38,3
130	219×6	159×4,5	200	385	270	275	60	32	47,6

Примечания:
 1. Затворы должны изготавливаться в двух исполнениях: 1 — для аппаратов из углеродистой стали; 2 — для аппаратов из коррозионностойкой и двухслойной (с коррозионностойким слоем) стали.
 2. Материал: для исполнения 1 — углеродистая сталь; для исполнения 2 — металлические детали, соприкасающиеся со средой, — коррозионностойкая сталь, остальные — так же, как и для исполнения 1.
 3. Значения D_{ϕ} , D_{δ} , D и z см. в табл. 32.22.
 4. В комплект затвора входят: 1 — корпус, 2 — стакан, 3 — фланец, 4 — втулка, 5 — подило, 6 — набивки и крепежные детали.

Таблица 32.24

Муфты продольно-разъемные для вертикальных валов перемешивающих устройств
(по МН 5871—66)



Условное обозначение муфты с $d = 50$ мм: «Муфта 50 МН 5871—66».

d	D_{ϕ}	$D_{б}$	D	H	H_k	b	$d_{б}$	b_a	$d + f_1$	M_K^{*} Н·М	Масса, кг
мм											
30	100	70	55	120	50	16		10	33,3	180	3,9
40	115	85	70	140	58	20	M10	12	43,3	560	5,5
50	130	100	85	170	70	24		14	53,8	1 000	8,38
65	160	135	115	230	97	30	M12	18	69,4	1 800	16,3
80	185	155	135	260	109	36		22	85,4	4 000	24,9
95	220	185	160	290	124	40		25	100,4	6 300	40,3
110	250	210	185	360	154	45	M16	28	116,4	10 000	62,3
130	300	260	225	430	185	50		32	137,4	18 000	105

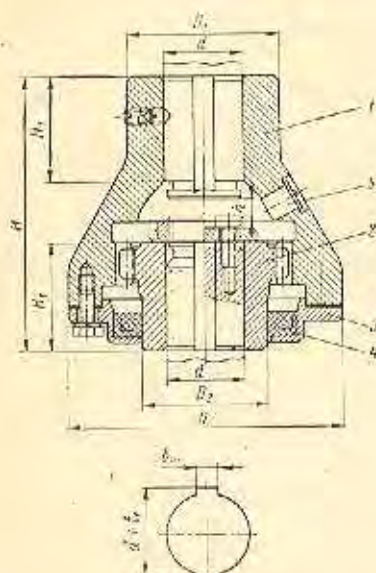
Примечания:

1. Материал — углеродистая сталь. При работе в агрессивных средах — коррозионностойкая сталь.
2. В комплект муфты входят: 1 — корпус (из двух половин); 2 — кольцо (фланца); 3 — кольцо разрезное; 4 — пружинные кольца; 5 — шпильки с гайками и шайбами.
3. Шпильки по ГОСТу 8788—88.

* M_K — наибольший крутящий момент.

Таблица 32.26

Муфты зубчатые для соединения вертикальных валов в приводах перемешивающих устройств (по МН 5872—66)



Условное обозначение муфты с $d = 50$ мм: «Муфта 50 МН 5872—66».

d	D	D_1	D_2	H	H_1	h	$b_{ш}$	$d+t_1$	$M_{кр}^*$ н·м	Масса, кг
мм										
30								33,3		2,83
32 ^{***}	105	58	48	105	40		10	35,3	180	2,7
40						7		43,3		4,27
42 ^{**}	115	70	58	132	52		12	45,3	500	4,07
50						8		53,8	1000	7,75
65	170	100	90	205	85		18	69,4	1800	13,2
80						12	22	85,4	4000	21,2
95	215	135	130	290	120	14	25	100,4	8300	27,9

Примечания:
1. Материал — углеродистая сталь и чугун (крышки 3).

2. В комплект муфты входят: 1 — обойма зубчатая; 2 — втулки зубчатые; 3 — крышка; 4 — уплотнение манжетное резиновое; 5 — пресс-масленка и крепежные детали.

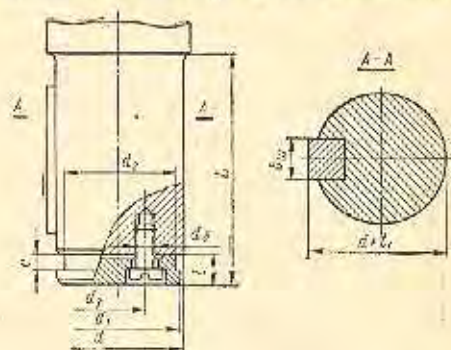
3. Шпонки по ГОСТу 8789—68.

* $M_{кр}^*$ — наибольший крутящий момент.

** Только для приводов с гидромоторами.

Таблица 32.27

Конструкция конца вертикального вала мотор-редуктора типа МПО2 с приставкой



d	d_1	d_2	d_3	L	l	a	$b_{ш}^*$	$d+t_1$	Винты	
мм										
									d_0	z
50	48	42	20	89	11	6	16	57,5	M8	2
65	62	53	30	97	14	8	20	74,5	M10	
80	78	70	40	121	18	10	24	91	M12	
95	92	82	50	141				106		3
110	108	98	70	180	22	12	32	125		
130	128	113	80	184	26	14	40	149		

* Значения $b_{ш}$ и $d+t_1$ приведены по МН 5534—64 и не соответствуют ГОСТу 8788—68.

32.3 РАСЧЕТ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ВАЛОВ ПЕРЕМЕШИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ *

Валы должны быть прочными, жесткими и виброустойчивыми.

В качестве определяющего условия работоспособности вала принимается виброустойчивость его. При выполнении этого условия прочность и устойчивость вала обычно бывают обеспечены.

В аппаратах с перемешивающими устройствами, как правило, применяются жесткие валы, имеющие угловую скорость вращения ω ниже первой критической ω_{01} и удовлетворяющие условию

$$\omega \leq 0,7\omega_{01} \quad (32.2)$$

Это условие экспериментально подтверждено при перемешивании сред с динамическим коэффициентом вязкости $\mu_c \leq 0,8$ н·сек/м² и плотностью $\rho_c \leq 1500$ кг/м³.

В тех случаях, когда вязкость и плотность перемешиваемой среды превышают указанные пределы, жесткие валы должны удовлетворять условию

$$\omega \leq 0,6\omega_{01} \quad (32.3)$$

* По методике, разработанной Ленинградским технологическим институтом им. Ленского совместно с ЛениНИИхиммашип РТМ 145—68.

Первая критическая скорость вала ω_{01} в рад/сек определяется по формуле

$$\omega_{01} = \frac{\alpha^2}{L^2} \sqrt{\frac{EJ}{m}} \quad (32.4)$$

где L — расчетная длина вала в м;
 E — модуль упругости материала вала в н/м^2 ;
 J — момент инерции поперечного сечения вала в м^4 ;
 m — масса единицы длины вала в кг/м ;
 α — корень частотного уравнения, основной тон.

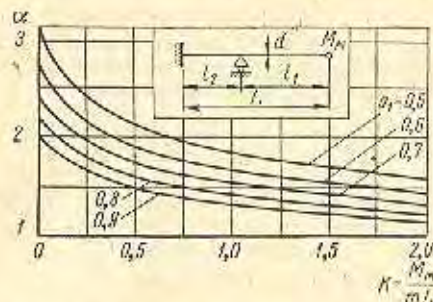


Рис. 32.1. Значение корня частотного уравнения α в формуле (32.4) для расчетной схемы вала № 1

Величина α определяется по графикам на рис. 32.1—32.6 в зависимости от расчетной схемы вала.

Выбор расчетной схемы вала производится со следующими допущениями:

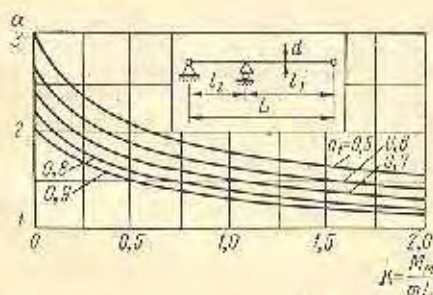


Рис. 32.2. Значение корня частотного уравнения α в формуле (32.4) для расчетной схемы вала № 2

одиночный радиальный шарикоподшипник считается шарнирной опорой;
 вал в подшипниках корпуса редуктора считается жесткой опорой;

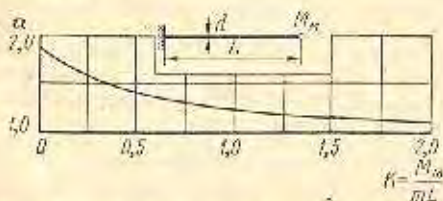


Рис. 32.3. Значение корня частотного уравнения α в формуле (32.4) для расчетной схемы вала № 3

нижний концевой подшипник скольжения считается жесткой опорой, если длина его больше $2d$, в противном случае — шарнирной опорой;

разъемное соединение вала при помощи жесткой муфты эквивалентно неразрезному валу;
 консоли, на которых установлены зубчатая муфта и шкив клиноременной передачи, считаются свободными концами вала;

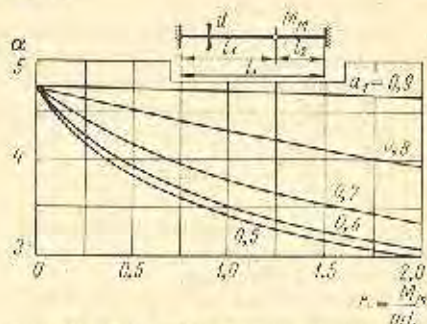


Рис. 32.4. Значение корня частотного уравнения α в формуле (32.4) для расчетной схемы вала № 4

сальниковые, мембранные и торцовые уплотнения не оказывают влияния на условия закрепления вала;
 податливость узлов крепления вала не оказывает влияния на критическую скорость вала;

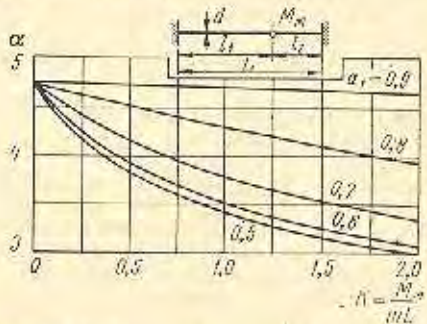


Рис. 32.5. Значение корня частотного уравнения α в формуле (32.4) для расчетной схемы вала № 5

изменение ω_{01} за счет гироскопического момента перемешивающего устройства, а также за счет действия сжимающих или растягивающих осевых нагрузок от давле-

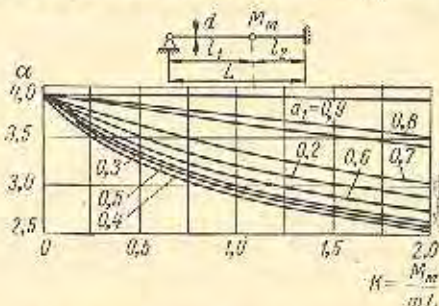


Рис. 32.6. Значение корня частотного уравнения α в формуле (32.4) для расчетной схемы вала № 6

ния среды, от силы тяжести и от наклона лопастей перемешивающего устройства (не превышающего 5%) не учитывается;

незначительное утолщение вала в местах установки подшипников не учитывается.

Расчет вала с одним или двумя перемешивающими устройствами производится в следующей последовательности.

Принимаются за исходные данные расчетная мощность N'_m , расходуемая на перемешивание, и угловая скорость вращения перемешивающего устройства ω (см. гл. 31).

Расчетный крутящий момент на валу с перемешивающим устройством M'_k в $n \cdot m$ определяется по формуле

$$M'_k = \frac{N'_m}{\omega} \quad (32.5)$$

Выбирается расчетная схема вала по табл. 32.28 в зависимости от типа привода, конструкций опор и эксплуатационных особенностей аппарата.

Определяются линейные размеры вала и его участков. Предварительный минимальный диаметр вала d в m определяется по формуле

$$d = 1,71 \sqrt[3]{\frac{M'_k}{\tau_d}} \quad (32.6)$$

где τ_d — допускаемое напряжение на кручение для материала вала в n/m^2 .

Для полученного диаметра d определяется масса единицы длины сплошного вала m в kg/m :

$$m = \rho \frac{\pi}{4} d^2 \quad (32.7)$$

где ρ — плотность материала вала в kg/m^3 ; определяются коэффициенты:

$$K = \frac{M_m}{mL}; \quad a = \frac{l}{L}; \quad a_1 = \frac{l_1}{L}; \quad a_2 = \frac{l_2}{L},$$

где M_m — масса перемешивающего устройства в kg ; l , l_1 и l_2 — длины соответствующих участков вала (см. табл. 32.28 и 32.29) в m .

Определяется корень частотного уравнения $\alpha_1 = f(K, a, a_1)$ для основного тона по соответствующему графику (рис. 32.1—32.6).

Определяется первая критическая скорость вала по формуле (32.4).

Если найденное значение ω_{01} не удовлетворяет условиям (32.2) или (32.3), необходимо соответственно изменить диаметр вала (обычно в большую сторону).

Для полученного диаметра вала определяются напряжения от крутящего и изгибающего моментов τ и σ_a в n/m^2 :

$$\tau = \frac{M'_k}{0,2d^3}; \quad (32.8)$$

$$\sigma_a = \frac{M'_a}{0,1d^3}; \quad (32.9)$$

Расчетный изгибающий момент M'_a от действия приведенной центробежной силы $P_{ц}$ определяется в зависимости от расчетной схемы вала согласно табл. 32.28. Приведенная центробежная сила (в n) определяется по формуле

$$P_{ц} = M_{пр} \omega^2 r, \quad (32.10)$$

где $M_{пр}$ — приведенная сосредоточенная масса вала и перемешивающего устройства в kg ;

r — радиус вращения центра тяжести приведенной массы вала и перемешивающего устройства в m .

Приведенная сосредоточенная масса вала и перемешивающего устройства (в kg) определяется по формулам:

при одном перемешивающем устройстве

$$M_{пр} = M_m + qmL; \quad (32.11)$$

при двух перемешивающих устройствах

$$M_{пр} = M_{m1} + \rho M_{m2} + qmL, \quad (32.12)$$

где M_{m1} и M_{m2} — соответственно массы двух перемешивающих устройств в kg ;

q — коэффициент приведения распределенной массы вала к сосредоточенной массе перемешивающего устройства M_{m1} ;

ρ — коэффициент приведения массы M_{m2} в точку закрепления массы M_{m1} .

Коэффициенты q и ρ определяются по формулам табл. 32.29. Радиус r в m определяется по формуле

$$r = \frac{e'}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_{01}}\right)^2}, \quad (32.13)$$

где e' — эксцентриситет центра массы перемешивающего устройства с учетом бисения вала в m .

Величина e' определяется по формуле

$$e' = e + 0,5\delta, \quad (32.14)$$

где e — эксцентриситет центра массы перемешивающего устройства в m ;

δ — допускаемое бисение вала (обычно принимается в пределах 1 mm) в m .

Результирующее напряжение в вале σ_p в Mn/m^2 (kg/cm^2) определяется по формуле

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_a^2 + 4\tau^2} \leq \sigma_d. \quad (32.15)$$

Величина результирующего напряжения обычно значительно ниже допускаемого, и поэтому расчет вала на выносливость с учетом знакопеременных нагрузок, масштаба фактора и концентраторов напряжений можно не производить.

Прогибы вала в паре трения уплотнения и других ответственных местах, реакции опор, а также углы поворота сечений и подшипниках определяются по формулам табл. 32.28 и должны быть не больше допускаемых.

Допускаемое бисение вала в сальниковом уплотнении 0,05—0,1 mm .

Для радиальных шариковых подшипников наибольший допускаемый угол поворота $\theta = 0,01$ град, для сферических — $\theta = 0,05$ рад.

Окончательно диаметр вала с учетом прибавок на коррозию и механический износ округляется до ближайшего большего размера для валов соответствующего нормализованного привода (см. выше).

В ряде случаев, особенно для быстроходных перемешивающих устройств аппаратов большого объема (25—50 m^3 и более), диаметры жестких консольных валов, рассчитанные по приведенной выше методике, получаются слишком велики, что неэкономично. Для таких случаев с целью уменьшения диаметра валов можно применять так называемые гибкие валы, работающие в закритической области. Условие надежной работы указанных валов, вращающихся в воздухе, имеет вид

$$1,3\omega_{01} \leq \omega \leq 0,7\omega_{02}, \quad (32.16)$$

где ω_{02} — вторая критическая скорость вала в rad/sec , вычисляемая по формуле

$$\omega_{02} = \frac{\alpha_1^2}{L^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}. \quad (32.17)$$

Здесь α_1 — корень частотного уравнения первый обертоп. Определение α_1 см. в РТМ 145—66.

незначительное утолщение вала в местах установки подшипников не учитывается.

Расчет вала с одним или двумя перемешивающими устройствами производится в следующей последовательности.

Принимаются за исходные данные расчетная мощность N'_m , расходуемая на перемешивание, и угловая скорость вращения перемешивающего устройства ω (см. гл. 31).

Расчетный крутящий момент на валу с перемешивающим устройством M'_k и $n \cdot m$ определяется по формуле

$$M'_k = \frac{N'_m}{\omega} \quad (32.5)$$

Выбирается расчетная схема вала по табл. 32.28 в зависимости от типа привода, конструкции опор и эксплуатационных особенностей аппарата.

Определяются линейные размеры вала и его участков. Предварительный минимальный диаметр вала d в m определяется по формуле

$$d = 1,71 \sqrt[3]{\frac{M'_k}{\tau_0}} \quad (32.6)$$

где τ_0 — допускаемое напряжение на кручение для материала вала в n/m^2 .

Для полученного диаметра d определяется масса единицы длины сплошного вала m в kg/m :

$$m = \rho \frac{\pi}{4} d^2, \quad (32.7)$$

где ρ — плотность материала вала в kg/m^3 ; определяются коэффициенты:

$$K = \frac{M_m}{mL}; \quad a = \frac{l}{L}; \quad a_1 = \frac{l_1}{L}; \quad a_2 = \frac{l_2}{L},$$

где M_m — масса перемешивающего устройства в kg ; l , l_1 и l_2 — длины соответствующих участков вала (см. табл. 32.28 и 32.29) в m .

Определяется корень частотного уравнения $\alpha_1 = f(K, a, a_1)$ для основного тона по соответствующему графику (рис. 32.1—32.6).

Определяется первая критическая скорость вала по формуле (32.4).

Если найденное значение ω_{01} не удовлетворяет условиям (32.2) или (32.3), необходимо соответственно изменить диаметр вала (обычно в большую сторону).

Для полученного диаметра вала определяются напряжения от крутящего и изгибающего моментов τ и σ_a в n/m^2 :

$$\tau = \frac{M'_k}{0,2d^3}; \quad (32.8)$$

$$\sigma_a = \frac{M'_a}{0,1d^3}; \quad (32.9)$$

Расчетный изгибающий момент M'_a от действия приведенной центробежной силы $P_{ц}$ определяется в зависимости от расчетной схемы вала согласно табл. 32.28. Приведенная центробежная сила (в kg) определяется по формуле

$$P_{ц} = M_{пр} \omega^2 r, \quad (32.10)$$

где $M_{пр}$ — приведенная сосредоточенная масса вала и перемешивающего устройства в kg ;

r — радиус вращения центра тяжести приведенной массы вала и перемешивающего устройства в m .

Приведенная сосредоточенная масса вала и перемешивающего устройства (в kg) определяется по формулам:

при одном перемешивающем устройстве

$$M_{пр} = M_m + qmL; \quad (32.11)$$

при двух перемешивающих устройствах

$$M_{пр} = M_{м1} + \rho M_{м2} + qmL, \quad (32.12)$$

где $M_{м1}$ и $M_{м2}$ — соответственно массы двух перемешивающих устройств в kg ;

q — коэффициент приведения распределенной массы вала к сосредоточенной массе перемешивающего устройства $M_{м1}$;

ρ — коэффициент приведения массы $M_{м2}$ в точку закрепления массы $M_{м1}$.

Коэффициенты q и ρ определяются по формулам табл. 32.29. Радиус r в m определяется по формуле

$$r = \frac{e'}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_{01}}\right)^2}, \quad (32.13)$$

где e' — эксцентриситет центра массы перемешивающего устройства с учетом бисиния вала в m .

Величина e' определяется по формуле

$$e' = e + 0,5b, \quad (32.14)$$

где e — эксцентриситет центра массы перемешивающего устройства в m ;

b — допускаемое бисиние вала (обычно принимается в пределах 1 мм) в m .

Результирующее напряжение в вале σ_p в Mn/m^2 (kg/cm^2) определяется по формуле

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_a^2 + 4\tau^2} \leq \sigma_d, \quad (32.15)$$

Величина результирующего напряжения обычно значительно ниже допускаемого, и поэтому расчет вала на выносливость с учетом знакопеременных нагрузок, масштаба фактора и концентраторов напряжений можно не производить.

Прогибы вала в паре гребня уплотнения и других ответственных местах, реакции опор, а также углы поворота сечений и подшипниках определяются по формулам табл. 32.28 и должны быть не больше допускаемых.

Допускаемое биеение вала в сальниковом уплотнении $0,05-0,1 \text{ мм}$.

Для радиальных шариковых подшипников наибольший допускаемый угол поворота $\theta = 0,01 \text{ град}$, для сферических — $\theta = 0,05 \text{ рад}$.

Окончательно диаметр вала с учетом приращок на коррозию и механический износ округляется до ближайшего большего размера для валов соответствующего нормализованного привода (см. выше).

В ряде случаев, особенно для быстроходных перемешивающих устройств аппаратов большого объема ($25-50 \text{ м}^3$ и более), диаметры жестких консольных валов, рассчитанные по приведенной выше методике, получаются слишком велики, что неэкономично. Для таких случаев с целью уменьшения диаметра валов можно применять так называемые гибкие валы, работающие в закритической области. Условие надежной работы указанных валов, вращающихся в воздухе, имеет вид

$$1,3\omega_{01} \leq \omega \leq 0,7\omega_{02}, \quad (32.16)$$

где ω_{02} — вторая критическая скорость вала в $рад/сек$, вычисляемая по формуле

$$\omega_{02} = \frac{\alpha_1^2}{L^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}. \quad (32.17)$$

Здесь α_1 — корень частотного уравнения первый обертоп. Определение α_1 см. в РТМ 145—66.

Данные для расчета вала вертикального перемешивающего устройства

№ схемы	Расчетная схема вала	Опорные реакции	Величина и место максимального M_u	Уравнение упругой линии и угол поворота сечений вала в опорах (Θ)
1		$R_A = -\frac{3}{2} \frac{l_1}{l_2} P$ $R_B = -\left(1 + \frac{3}{2} \frac{l_1}{l_2}\right) P$	$-M_{u \max} = -M_B = -Pl_1$ $+M_{u \max} = M_A = -\frac{Pl_1}{2}$	$y = \frac{P}{EJ} \left[\frac{l_1 l_2 x}{4} + \frac{x^2}{2} \left(l_1 - \frac{x}{3} \right) \right]$ при $0 \leq x \leq l_1$; $\Theta_B = \frac{Pl_1 l_2}{4EJ}$; $\Theta_A = 0$
2		$R_A = -\frac{l_1}{l_2} P$ $R_B = -\frac{L}{l_2} P$	$-M_{u \max} = -M_B = -Pl_1$	$y = \frac{P}{EJ} \left[\frac{l_1 l_2 x}{3} + \frac{x^2}{2} \left(l_1 - \frac{x}{3} \right) \right]$ при $0 \leq x \leq l_1$; $\Theta_A = -P \frac{l_1 l_2}{6EJ}$; $\Theta_B = P \frac{l_1 l_2}{3EJ}$
3		$R_A = P$	$-M_{u \max} = -M_A = PL$	$y = \frac{P}{EJ} \left(L \frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{6} \right)$; $\Theta_A = 0$
4		$R_A = \frac{l_2^2}{L^3} (3l_1 + l_2) P$ $R_B = \frac{l_1^2}{L^3} (3l_2 + l_1) P$	$M_A = -P \frac{l_1 l_2^2}{L^2}$; $M_B = -P \frac{l_1^2 l_2}{L^2}$ $+M_{u \max} = M_P = -R_A l_1 - P \frac{l_1 l_2^2}{L^2}$	$y = \frac{Pl_2^2 x^2}{6EJL^3} (3l_1 L - 3l_2 x - l_2 x)$ при $0 \leq x \leq l_1$; $y = \frac{Pl_1^2 (L-x)^2}{6EJL^3} [3l_2 L - (3l_2 + l_1) \times (L-x)]$ при $l_1 \leq x \leq L$
5		$R_A = \frac{l_2}{L} P$ $R_B = \frac{l_1}{L} P$	$+M_{u \max} = M_P = -P \frac{l_1 l_2}{L}$	$y = \frac{Pl_2 x}{6EJL} [2L(L-x) - l_2^2 - (L-x)^2]$; $\Theta_A = \frac{Pl_2}{6EJ} \left(\frac{l_2}{L} - \frac{l_2^3}{L^3} \right)$ при $0 \leq x \leq l_1$; $y = \frac{Pl_1 (L-x)}{6EJL} [2Ll_2 - l_2^2 - (L-x)^2]$; $\Theta_B = -\frac{Pl_1^3}{6EJ} \times \left(\frac{2l_2}{L} + \frac{l_2^3}{L^3} - \frac{3l_2^2}{L^2} \right)$ при $l_1 \leq x \leq L$
6		$R_A = \frac{P}{2} \cdot \frac{3l_2^2 L - l_2^3}{L^3}$ $R_B = P - R_A$	$M_B = -\frac{P}{2} \times \frac{l_2^3 + 2l_2 L^2 - 3l_2^2 L}{L^2}$ $+M_{u \max} = M_P = -R_A l_1$	$y = -\frac{1}{6EJ} [R_A (x^3 - 3L^2 x) + 3Pl_2^2 x]$; $\Theta = -\frac{PL^2}{4EJ} \left(\frac{l_2^3}{L^3} - \frac{l_2^2}{L^2} \right)$ при $0 \leq x \leq l_1$; $y = -\frac{1}{6EJ} [R_A (x^3 - 3L^2 x) + P [3l_2^2 x - (x-l_1)^3]]$; $\Theta_B = 0$ при $l_1 \leq x \leq L$

Значения коэффициентов q и p в формулах (32.11) и (32.12)

Таблица 3

№ Схемы	Расчетные схемы реального и приведенного валов	Коэффициент приведения q	Коэффициент приведения p
1		$\frac{12}{(4,6 - 3a_1)^4 a_1^2 (a_1 + 3)}$	$\frac{(a_1 - a)^2 (3a_2 + 4a_1 - 4a)}{a_1^2 (3a_2 + 4a_1)}$
2		$\frac{3}{(4 - 2,2a_1)^4 a_1^2}$	$\frac{(a_1 - a)^2 (1 - a)}{a_1^2}$
3		0,24	a_1^2
4		$\frac{1}{165a_1^3 a_2^3}$	$\frac{a^2 (1 - a)^2}{a_1^3 a_2^3}$
5		$\frac{1}{32a_1^2 a_2^2}$	$\frac{a^2 (1 - a)^2}{a_1^2 a_2^2}$
6		$\frac{1}{20a_1^2 a_2^2 (3 + a_1)}$ $\frac{1}{20a^2 (1 - a)^2 (3 + a)} *$	$\frac{a^2 [4 - a (3 - a)^2]}{a_1^2 [4 - a_1 (2 + a_2)^2]}$ $\frac{a^2 [4 - a (3 - a)^2]}{a^2 [4 - a (3 - a)^2]}$

* Только для случая приведения массы m или $M_{м1}$ к сосредоточенной массе $M_{м2}$.

Вследствие недостаточной изученности работы гибких валов в различных перемещаемых средах применять их рекомендуется лишь для однопропеллерных и закрытых турбинных перемешивающих устройств при выполнении условия (32.15) и условий:

$$\frac{D_0}{d_m} \geq 4; \quad (32.18)$$

$$\omega = (1,3 + 1,6) \omega_{01}. \quad (32.19)$$

Разъемные соединения гибкого вала жесткими муфтами на расчетной длине его L не допускаются. В остальном расчет гибких валов идентичен расчету жестких. При этом радиус окружности r в м, по которой вращается центр тяжести приведенной массы вала и перемешивающего устройства, определяется по формуле

$$r = \frac{e'}{\left(\frac{\omega}{\omega_{01}}\right)^2 - 1}. \quad (32.20)$$

Пример 32.1*. Рассчитать жесткий консольный вал с закрытым турбинным перемешивающим устройством для аппарата емкостью 5 м³ по следующим данным: $D_0 = 1,8$ м; $d_m = 0,6$ м; $M_m = 29$ кг; $\omega = 18,8$ рад/сек; $N_m = 4500$ вт; $e = 0,16$ м; материал вала — сталь ($E = 2,2 \cdot 10^{11}$ н/м²; $\rho = 7,85 \cdot 10^3$ кг/м³; $\tau_0 = 44 \cdot 10^6$ н/м²; $\sigma_0 = 80 \cdot 10^6$ н/м²); $\delta = 1$ мм; длина вала $L = 3$ м; $l_1 = 2,4$ м; $l_2 = 0,6$ м; расчетная схема вала — 1 (см. табл. 32.28); расстояние сальника от нижнего подшипника $x = 0,5$ м.

Приближенное значение диаметра вала определяем по формуле (32.6):

$$d = 1,71 \sqrt[3]{\frac{N_m}{\omega \tau_0}} = 1,71 \sqrt[3]{\frac{4500}{18,8 \cdot 44 \cdot 10^6}} = 0,03 \text{ м.}$$

* Пример заимствован из РТМ 145-66 с некоторыми изменениями по оформлению.

Массу единицы длины вала определяем по формуле (32.7):

$$m = \rho \frac{\pi}{4} d^2 = 7,85 \cdot 10^3 \frac{\pi}{4} 0,03^2 = 5,55 \text{ кг/м.}$$

Определяем момент инерции поперечного сечения вала:

$$J = \frac{\pi}{64} d^4 = \frac{\pi}{64} 0,03^4 = 3,98 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4.$$

Определяем коэффициенты K и a_1 :

$$K = \frac{M_k}{mL} = \frac{29}{5,55 \cdot 3} = 1,74; \quad a_1 = \frac{l_1}{L} = \frac{2,4}{3} = 0,8.$$

По полученным значениям K и a_1 из графика на рис. 32.1 находим корень α частотного уравнения:

$$\alpha = f(K; a_1) = f(1,74; 0,8) = 1,27.$$

Первую критическую скорость определяем по формуле (32.4):

$$\begin{aligned} \omega_{01} &= \frac{\alpha^2}{L^2} \sqrt{\frac{EJ}{m}} = \\ &= \frac{1,27^2}{3^2} \sqrt{\frac{2,2 \cdot 10^{11} \cdot 3,98 \cdot 10^{-8}}{5,55}} = 7,15 \text{ рад/сек.} \end{aligned}$$

откуда $\frac{\omega}{\omega_{01}} = \frac{18,8}{7,15} = 2,63$, что не удовлетворяет условию (32.2) и, следовательно, неприемлемо.

Принимаем $d = 65$ мм по нормали на приводы. Тогда $m = 26,1$ кг/м; $J = 88,6 \cdot 10^{-8}$ м⁴; $K = 0,37$; $a_1 = 0,8$; $\alpha = 1,73$. Поэтому

$$\omega_{01} = \frac{1,73^2}{3^2} \sqrt{\frac{2,2 \cdot 10^{11} \cdot 88,6 \cdot 10^{-8}}{26,1}} = 28,8 \text{ рад/сек.}$$

откуда $\frac{\omega}{\omega_{01}} = \frac{18,8}{28,8} = 0,655 < 0,7$, т. е. удовлетворяет условию (32.2).

Расчетный крутящий момент на валу определяем по формуле (32.5):

$$M'_k = \frac{N'_m}{\omega} = \frac{4500}{18,8} \approx$$

$$\approx 240 \text{ н.м (2400 кгс.см).}$$

Касательные напряжения в валу определяем по формуле (32.8):

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{M'_k}{0,2d^3} = \frac{240}{0,2 \cdot 0,065^3} = \\ &= 4,35 \cdot 10^6 \text{ н/м}^2 \text{ (43,5 кгс/см}^2\text{)}. \end{aligned}$$

Общий небаланс системы вал — перемешивающее устройство определяем по формуле (32.14):

$$\begin{aligned} e' &= e + 0,5b = 0,16 + 0,5 \cdot 1 = \\ &= 0,88 \text{ мм} = 0,66 \cdot 10^{-3} \text{ м.} \end{aligned}$$

Радиус вращения центра тяжести приведенной массы вала и перемешивающего устройства определяем по формуле (32.13):

$$\begin{aligned} r &= \frac{e'}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_{01}}\right)^2} = \frac{0,66 \cdot 10^{-3}}{1 - \left(\frac{18,8}{28,8}\right)^2} = \\ &= 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 1,16 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Коэффициент приведения распределенной массы вала к сосредоточенной массе перемешивающего устройства определяем по соответствующей формуле табл. 32.29:

$$\begin{aligned} q &= \frac{12}{(4,6 - 3a_1)^2 a_1^2 (a_1 + 3)} = \\ &= \frac{12}{(4,6 - 3 \cdot 0,8)^2 \cdot 0,8^2 (0,8 + 3)} = 0,21. \end{aligned}$$

Приведенную сосредоточенную массу вала и перемешивающего устройства определяем по формуле (32.11):

$$M_{пр} = M_k + qmL = 29 + 0,21 \cdot 26,1 \cdot 3 = 45,4 \text{ кг.}$$

Приведенную центробежную силу определяем по формуле (32.10):

$$\begin{aligned} P_k &= M_{пр} \omega^2 r = 45,4 \cdot 18,8^2 \cdot 1,16 \cdot 10^{-3} = \\ &= 18,7 \text{ н (1,87 кгс)}. \end{aligned}$$

Расчетный изгибающий момент вала в месте установки нижнего подшипника определяем по формуле (1) табл. 32.28:

$$M'_u = P_k l_1 = 18,7 \cdot 2,4 = 45 \text{ н.м (450 кгс.см).}$$

Изгибающие напряжения в валу определяем по формуле (32.9):

$$\begin{aligned} \sigma_u &= \frac{M'_u}{0,1d^3} = \frac{45}{0,1 \cdot 0,065^3} = \\ &= 1,64 \cdot 10^6 \text{ н/м}^2 \text{ (16,4 кгс/см}^2\text{)}. \end{aligned}$$

Результирующее напряжение в валу определяем по формуле (32.15):

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \sqrt{\sigma_u^2 + 4\tau^2} = \sqrt{(1,64 \cdot 10^6)^2 + 4(4,35 \cdot 10^6)^2} = \\ &= 8,86 \cdot 10^6 \text{ н/м}^2 \text{ (88,6 кгс/см}^2\text{)}. \end{aligned}$$

что значительно ниже $\sigma_p = 80 \cdot 10^6$ н/м².

Прогиб вала в месте установки сальникового уплотнения определяем по соответствующей формуле табл. 32.28:

$$\begin{aligned} y &= \frac{P_k}{EJ} \left[\frac{l_1 l_2 x}{4} + \frac{x^2}{2} \left(l_1 - \frac{x}{3} \right) \right] = \\ &= \frac{18,7}{2,2 \cdot 10^{11} \cdot 88,6 \cdot 10^{-8}} \times \\ &\times \left[\frac{2,4 \cdot 0,6 \cdot 0,5}{4} + \frac{0,5^2}{2} \left(2,4 - \frac{0,5}{3} \right) \right] = \\ &= 0,044 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,044 \text{ мм,} \end{aligned}$$

что меньше допустимого прогиба для сальника, равного 0,05 мм.

Угол поворота вала в нижнем подшипнике определяем по соответствующей формуле табл. 32.28:

$$\theta = \frac{P_k l_1 l_2}{4EJ} = \frac{18,7 \cdot 2,4 \cdot 0,6}{4 \cdot 2,2 \cdot 10^{11} \cdot 88,6 \cdot 10^{-8}} = 3,5 \cdot 10^{-5} \text{ рад,}$$

что значительно меньше допустимого угла поворота для данного подшипника, равного 0,01 рад.

Таким образом, вал диаметром 65 мм удовлетворяет требованиям прочности, жесткости и виброустойчивости.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ПРИНЯТЫЕ ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЙ ВЕЛИЧИН
В СООТВЕТСТВИИ С МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМОЙ ЕДИНИЦ (СИ)
ПО ГОСТУ 9867-61**

Величина	Единицы измерения	Обозначение единиц	Размер единиц	Соотношения между единицами, отличающимися от единиц СИ, и единицами СИ или кратными и дольными от них
Основные и дополнительные единицы				
Длина	метр	м	По определению (ГОСТ 9867-61)	$1 \text{ см} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ м}$
Масса	килограмм	кг		$1 \text{ г} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$
Время	секунда	сек		$1 \text{ ч} = 3600 \text{ сек}; 1 \text{ мин} = 60 \text{ сек}$
Температура термодинамическая	Градус Кельвина	$^{\circ}\text{К}$		—
Плоский угол	радиан	рад		$1 \text{ об} = 2\pi \text{ рад}$
Производные единицы				
Площадь	квадратный метр	м^2	$(1 \text{ м})^2$	$1 \text{ см}^2 = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$
Объем	кубический метр	м^3	$(1 \text{ м})^3$	$1 \text{ см}^3 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3; 1 \text{ л} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$
Момент сопротивления плоской фигуры	метр в кубе	м^3	$(1 \text{ м})^3$	$1 \text{ см}^3 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$
Момент инерции плоской фигуры	метр в четвертой степени	м^4	$(1 \text{ м})^4$	$1 \text{ см}^4 = 1 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4$
Плотность	килограмм на кубический метр	$\text{кг}/\text{м}^3$	$(1 \text{ кг}) : (1 \text{ м})^3$	$1 \text{ г}/\text{см}^3 = 1 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$
Сила	ньютон	н	$(1 \text{ кг}) \cdot (1 \text{ м}) : (1 \text{ сек})^2$	$1 \text{ кгс} = 9,80665 \text{ н} \approx 9,81 \text{ н}$
Момент силы (изгибающий, крутящий)	ньютон-метр	$\text{н} \cdot \text{м}$	$(1 \text{ н}) \cdot (1 \text{ м})$	$1 \text{ кгс} \cdot \text{м} \approx 9,81 \text{ н} \cdot \text{м};$ $1 \text{ кгс} \cdot \text{см} \approx 98,1 \cdot 10^{-3} \text{ н} \cdot \text{м}$
Давление; напряжение (механическое)	ньютон на квадратный метр	$\text{н}/\text{м}^2$	$(1 \text{ н}) : (1 \text{ м})^2$	$1 \text{ кгс}/\text{см}^2 (1 \text{ ат}) \approx 98,1 \cdot 10^3 \text{ н}/\text{м}^2 =$ $= 98,1 \cdot 10^{-3} \text{ Мн}/\text{м}^2 =$ $= 98,1 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}/\text{м}^2 =$ $1 \text{ кгс}/\text{мм}^2 \approx 9,81 \cdot 10^6 \text{ н}/\text{м}^2 =$ $= 9,81 \text{ Мн}/\text{м}^2 = 9,81 \cdot 10^{-2} \text{ Гн}/\text{м}^2$ $1 \text{ мм рт. ст.} \approx 133,3 \text{ н}/\text{м}^2$ $1 \text{ мм вод. ст.} \approx 9,81 \text{ н}/\text{м}^2$
Работа; энергия; количество теплоты	джоуль	дж	$(1 \text{ н}) \cdot (1 \text{ м})$	$1 \text{ кгс} \cdot \text{м} \approx 9,81 \text{ дж};$ $1 \text{ ккал} \approx 4,1868 \text{ дж}$
Мощность	ватт	вт	$(1 \text{ дж}) : (1 \text{ сек})$	$1 \text{ кгс} \cdot \text{м}/\text{сек} \approx 9,81 \text{ вт} =$ $= 9,81 \cdot 10^{-3} \text{ кВт}$
Ударная вязкость	джоуль на квадратный метр	$\text{дж}/\text{м}^2$	$(1 \text{ дж}) : (1 \text{ м})^2$	$1 \text{ кгс} \cdot \text{м}/\text{см}^2 \approx 98,1 \cdot 10^3 \text{ дж}/\text{м}^2 =$ $= 98,1 \text{ кдж}/\text{м}^2 = 98,1 \cdot 10^{-3} \text{ Мдж}/\text{м}^2$ $1 \text{ кгс} \cdot \text{см}/\text{см}^2 \approx 0,98 \cdot 10^5 \text{ дж}/\text{м}^2 =$ $= 0,981 \text{ кдж}/\text{м}^2 =$ $= 0,981 \cdot 10^{-3} \text{ Мдж}/\text{м}^2$

Величина	Единица измерения	Обозначение единиц	Размер единиц	Соотношения между единицами, отличающимися от единиц СИ, и единицами СИ или кратными и дольными от них
Вязкость	путьон-секунда на квадратный метр	$\mu\text{-сек/м}^2$	$(1 \mu) \cdot (1 \text{сек}) : (1 \text{м})^2$	$1 \mu\text{о} = 0,1 \mu\text{-сек/м}^2$; $1 \text{спз} = 1 \cdot 10^{-3} \mu\text{-сек/м}^2$ $1 \text{кас-сек/м}^2 = 9,81 \mu\text{-сек/м}^2$
Скорость линейная	метр в секунду	$\mu\text{/сек}$	$(1 \text{м}) : (1 \text{сек})$	$1 \mu\text{/сек} = 1 \cdot 10^{-2} \text{м/сек}$
Ускорение линейное	метр на секунду в квадрате	$\mu\text{/сек}^2$	$(1 \text{м}) : (1 \text{сек})^2$	$1 \text{см/сек}^2 = 1 \cdot 10^{-2} \mu\text{/сек}^2$
Скорость угловая	радиан в секунду	рад/сек	$(1 \text{рад}) : (1 \text{сек})$	$1 \text{об/мин} = \frac{\pi}{30} \text{рад/сек}$; $1 \text{об/сек} = 2\pi \text{рад/сек}$

Примечания:
 1. Для приведения нормального ряда давлений в единицах системы СИ в соответствие с рядом предпочтительных чисел по ГОСТу 8032—56 в справочнике принято соотношение $1 \text{кас/см}^2 (1 \text{ат}) \approx 0,1 \text{Мн/м}^2$, что приводит к завышению давления примерно на 2%. Соответственно этому при пересчете величины, характеризующих механическую прочность материалов (σ_p, σ_r, E), принято соотношение $1 \text{кас/см}^2 \approx 10 \text{Мн/м}^2$ и $1 \text{кас/см}^2 \approx 0,1 \text{Мн/м}^2$. Принятые допущения не отражаются на результатах расчетов на механическую прочность деталей аппаратуры, работающей под давлением. Однако авторы обращают внимание читателей на то, что произведенный ими пересчет величины σ_p, σ_r, E соответственно системе СИ завышает гарантируемые поставщиками показатели механических свойств материалов примерно на 2%.
 2. В качестве единицы измерения температур в справочнике принят градус Цельсия ($^{\circ}\text{C}$), допускаемый ГОСТом 9867—81 для практического применения; ($^{\circ}\text{C}$) = ($^{\circ}\text{K} - 273,16$).

ПРИЛОЖЕНИЕ II. ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ В СПРАВОЧНИКЕ ОТРАСЛЕВЫХ НОРМАЛЕЙ И ОТРАСЛЕВЫХ РУКОВОДЯЩИХ ТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

- ОН 12-45—62. Трубы из углеродистой и высоколегированной стали для химического и компрессорного машиностроения. Соргомент. Отраслевая норма. М., НИИХиммаш, 1962.
- ОН 023-3—63. Теплообменники графитовые прямоугольные блочные. Типы, основные параметры и размеры. Отраслевая норма. М., НИИХиммаш, 1963.
- ОН 023-4—63. Секции оросительных холодильников из АТМ-1. Типы, параметры и основные размеры. Отраслевая норма. М., НИИХиммаш, 1963.
- ОН 26-01-2—64. Аппараты колонного типа из чугуна. Тарелки типа ТЧК. Конструкция и основные размеры. Отраслевая норма. Харьков, УкрНИИХиммаш, 1963.
- ОН 26-01-3—64. Аппараты колонного типа из стали. Тарелки типа ТСК-III. Конструкция и основные размеры. Отраслевая норма. Харьков, УкрНИИХиммаш, 1964.
- ОН 26-01-4—64. Аппараты колонного типа из стали. Тарелки типов ТСК-РЦ и ТСК-РБ. Конструкция и основные размеры. Отраслевая норма. Харьков, УкрНИИХиммаш, 1964.
- ОН 26-01-9—65. Реакторы с винтовыми перемешивающими устройствами и герметичными приводами к ним. Параметры и основные размеры. Отраслевая норма. М., НИИХиммаш, 1965.
- ОН 26-01-10—65. Сосуды и аппараты стальные сварные. Узлы и детали. Люки. Типы, конструкции и основные размеры. Отраслевая норма. Пенза, ВНИИПТ-химмаш, 1965.
- ОН 26-01-11—65. Аппараты колонного типа. Тарелки керамические колпачковые типа ТКК. Параметры и основные размеры. Полтава, НИИЭмальхиммаш, 1965.
- ОН 12-01-12—65. Перемешивающие устройства из фаялита. Типы, параметры и основные размеры. Отраслевая норма. Северодонецк, филиал НИИХиммаша, 1965.
- ОН 26-01-13—65. Н 1039—65. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Отраслевая норма. М., Минхимнефтемаш, 1965.
- ОН 26-01-15—65. Аппараты колонного типа. Тарелки типа ТСП-II и ТСП-III. Конструкция и основные размеры. Отраслевая норма. Харьков, УкрНИИХиммаш, 1965.
- ОН 26-01-16—65. Сосуды и аппараты стальные. Узлы и детали. Бобышки. Типы и основные размеры. Отраслевая норма. Харьков, УкрНИИХиммаш, 1965.
- ОН 26-01-17—66. Н 26-02-14—66. Сосуды и аппараты. Нормы расчета и конструирования фланцевых соединений. Отраслевая норма. М., Минхимнефтемаш, 1966.
- ОН 26-01-18—66. Колонны вакуумные роторные с вращающимися тарелками. Тип и параметры. Отраслевая норма. М., НИИХиммаш, 1966.
- ОН 26-01-21—66 — ОН 26-01-31—66. Сосуды и аппараты из винилпласта. Основные узлы и детали. Конструкция и исполнительные размеры. Отраслевая норма. Северодонецк, филиал НИИХиммаша, 1966.
- ОН 26-01-32—66. Сосуды и аппараты стальные эмальрованные. Опоры вертикальных аппаратов. Конструкция и исполнительные размеры. Отраслевая норма. Полтава, НИИЭмальхиммаш, 1966.
- ОН 26-01-33—66. Сосуды и аппараты с эмальным покрытием. Узлы и детали. Стойки вертикальных

- стальных аппаратов. Конструкция и исполнительные размеры. Отраслевая норма. Полтава, НИИэмальмаш, 1966.
19. ОН 26-01-34—66. Сосуды и аппараты с эмалевым покрытием. Узлы и детали. Штуцера стальные приварные встык. Конструкция и исполнительные размеры. Отраслевая норма. Полтава, НИИэмальмаш, 1966.
20. ОН 26-01-35—67. Сосуды и аппараты стальные сварные. Узлы и детали. Люки загрузочные. Типы, конструкция и основные размеры. Отраслевая норма. Иркутск, НИИхиммаш, 1967.
21. ОН 26-01-40—67. Сосуды и аппараты стальные сварные. Узлы и детали. Сальники для уплотнения труб. Типы, конструкция и основные размеры. Отраслевая норма. Северодонецк, филиал НИИхиммаша, 1967.
22. ОН 26-01-52—67. Теплообменники винты однопоточные цельносварные стальные с жестким сердечником. Конструкция, основные параметры и размеры. Отраслевая норма. Л., НИИхиммаш, 1967.
23. ОН 26-02-6—66. Испарители с паровым пространством. Типы, основные параметры и размеры. Отраслевая норма. М., Гипроцефтемаш, 1966.
24. ОН 26-02-7—65. Теплообменники кожухотрубчатые с U-образными трубами. Основные параметры и размеры. Отраслевая норма. М., Гипроцефтемаш, 1966.
25. ОН 26-02-8—66. Теплообменники кожухотрубчатые с плавающей головкой. Основные параметры и размеры. Отраслевая норма. М., Гипроцефтемаш, 1966.
26. ОН 26-02-9—66. Конденсаторы кожухотрубчатые с плавающей головкой. Основные параметры и размеры. Отраслевая норма. М., Гипроцефтемаш, 1966.
27. ОН 26-02-10—66. Холодильники кожухотрубчатые с плавающей головкой. Основные параметры и размеры. Отраслевая норма. М., Гипроцефтемаш, 1966.
28. ОН 26-02-11—66. Теплообменные аппараты кожухотрубчатые с плавающей головкой и с U-образными трубами двоянные. Отраслевая норма. М., Гипроцефтемаш, 1966.
29. ОН 26-02-30—66. Тарелки ректификационные ситчатые с отбойными элементами. Конструкция и основные размеры. Отраслевая норма. М., Гипроцефтемаш, 1967.
30. РТМ 54—60. Справочник по свойствам черных металлов, применяемых в оборудовании нефтеперерабатывающих заводов. Руководящий технический материал. М., Гипроцефтемаш, 1960.
31. РТМ 26-01-18—67. Гуммирование химической аппаратуры в отрасли химического машиностроения. Руководящий технический материал. Пенза, ВНИИП химмаш, 1967.
32. ОН 26-01-71—68. Сварка в химическом машиностроении. Отраслевая норма. М., НИИхиммаш, 1968.
33. МРТУ 26-01-9—67. Сварка трубопроводов работающих при условном давлении от 10 до 160 МПа (от 100 до 1000 кгс/см²) и температуре от -30 до +510°. Межреспубликанские технические условия. М., Иркутский НИИхиммаш, 1967.
34. ОН 26-01-41—67. Аппараты колонного типа Тарелки типа ТСК-III облегченные из легированных сталей. Конструкция и основные размеры (взамен ОН 26-01-3—64 в части тарелок из легированных сталей).
35. ОН 26-01-42—67. Аппараты колонного типа Тарелки типа ТСК-Р облегченные из легированных сталей. Конструкция и основные размеры (взамен МН 5394—6 в части тарелок и легированных сталей).
36. ОН 26-01-44—67 — ОН 26-01-50—67. Сосуды высокого давления. Соединения резьбовые. Типы, конструкция и исполнительные размеры. Методы расчета. Технические требования.
37. ОН 26-01-53—67. Сосуды и аппараты стальные эмалированные. Корпуса цилиндрические сварные. Типы и основные размеры.
38. ОН 26-01-56—67. Аппараты колонного типа Тарелки типа ТСК-1, облегченные из легированных сталей. Конструкция и основные размеры (взамен МН 5393—64 в части тарелок из легированных сталей).
39. ОН 26-01-57—67. Аппараты колонного типа. Насадки для вакуумных массообменных процессов. Типы и параметры.
40. Н 964—63. Тарелки ректификационные решетчатые. Параметры и основные размеры. Технические требования. Отраслевая норма. М., Гипроцефтемаш, 1963.
41. ОН 26-02-29—66. Тарелки ректификационные клапанные прямоточные. Конструкция и основные размеры. Отраслевая норма. М., Гипроцефтемаш, 1966.
42. ОН 26-01-72—68 — ОН 26-01-77—68. Сосуды и аппараты стальные сварные. Узлы и детали. Рубашки неразъемные. Конструкция и основные размеры. Отраслевая норма. Северодонецк, филиал НИИхиммаша, 1968.
43. РТМ 26-01-6—65. Метод расчета на прочность элементов сосудов и аппаратов из вишндалста.
44. ОН 26-01-79—68. Компенсаторы линзовые осевые на p_0 от 0,6 до 1,6 МПа (от 6 до 16 кгс/см²). Отраслевая норма. Пенза, ВНИИП химмаш, 1968.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамович В. Р. Сварка и пайка латуни. Изд. 3-е, испр. и доп. Л., Судпромгиз, 1959.
2. Акселяно-поршневые гидромоторы. Конструкция, основные параметры и присоединительные размеры. Нормаль машиностроения МН 5650—65. М., Стандартгиз, 1965.
3. Акшенцева А. П., Шази Р. Л. и Крутиков А. Н. Термическая обработка, предотвращающая коррозионное растрескивание аустенитных сталей. — «Металловедение и термическая обработка металлов», 1964, № 10.
4. Альбом емкостной аппаратуры на виннипласте. Под ред. А. В. Горяиновой. М., НИИХиммаш, ОНТИ, 1962.
5. Альбом емкостной аппаратуры из фалолита. Под ред. А. В. Горяиновой. М., НИИХиммаш, ОНТИ, 1963.
6. Андреева Н. В. и Казаркин В. И. Новые конструктивные химически стойкие металлические материалы. — Коррозия в химических производствах и способы защиты. Вып. 17. М., Госхимиздат, 1961.
7. Антикаев П. А. и Шапочкин В. А. Прочность и жаропрочность аустенитных сталей для высокотемпературных теплообменников. — «Энергомашиностроение», 1965, № 10.
8. Аппараты колонного типа. Тарелки ТСК-1. Конструкция и основные размеры. Нормаль машиностроения МН 5393—64. М., Стандартгиз, 1965.
9. Аппараты колонного типа. Тарелки ТСК-Р. Конструкция и основные размеры. Нормаль машиностроения МН 5394—64. М., Стандартгиз, 1965.
10. Аппараты с перемеживающими устройствами вертикальные. Каталог-справочник. М., ЦИНТИХимнефтемаши, 1966.
11. Аппараты с перемеживающими устройствами вертикальные. Корпуса стальные сварные. Типы, параметры, конструкции и основные размеры. Нормаль машиностроения МН 5685—66. М., Стандартгиз, 1966.
12. Аппараты с перемеживающими устройствами вертикальные. Перемиживающие устройства механические. Параметры, конструкции и исполнительные размеры. Нормаль машиностроения МН 5674—66. М., Стандартгиз, 1969.
13. Архангельский В. А. Пластические массы. Справочное пособие. Л., Судпромгиз, 1961.
14. Бабиков А. А. Нержавеющие стали. Под ред. Н. Я. Климова. М., Госхимиздат, 1956. (Коррозия в химических производствах и способы защиты. Вып. 8).
15. Бабичий И. Ф., Вихман Г. Л. и Вольфов С. И. Расчет и конструирование аппаратуры нефтеперерабатывающих заводов. Изд. 3-е, переработ. и доп. Под ред. Г. Л. Вихмана. М., изд-во «Недра», 1965.
16. Вакланов П. А. и Ваши Т. З. Химическое оборудование на виннипласте. — Коррозия в химических производствах и способы защиты. Вып. 4. М., Госхимиздат, 1956.
17. Балчицкий А. В. Технология изготовления вакуумной аппаратуры. М.—Л., Госнефтемаши, 1959.
18. Барачин В. П. Краткий справочник по коррозии (химическая стойкость материалов). М.—Л., Госхимиздат, 1963.
19. Баранников М. А. Сварка пластмасс. Ростовское книжное изд-во, 1964.
20. Батраков В. П. Коррозия конструктивных материалов в агрессивных средах. Справочник. Под ред. Г. В. Акимова. М., Оборонгиз, 1962.
21. Беляев П. М. Сопротивление материалов. Изд. 6-е. М., Гостехиздат, 1964.
22. Воробьева П. А. и Горяинова А. В. Из опыта промышленной эксплуатации графитовой теплообменной аппаратуры. — Неметаллические материалы в химическом машиностроении. М., изд-во «Машиностроение», 1967 (Труды НИИХиммаш, Вып. 52).
23. Вурцэв К. Н. Металлические сифоны. М.—Л., Машиз, 1963.
24. Васильков Б. А., Курмев В. Ф., Феденко Г. М. и Фрейтаг В. А. Методы расчета укреплений отверстий в сосудах и аппаратах. — «Химическое и нефтяное машиностроение», 1968, № 8.
25. Галицкий Б. А., Абедел М. М., Шварц Р. Л., Шведки В. Н. Типы и его сплавы в химическом машиностроении. Изд. 2-е, переработ. и доп. Под ред. Б. А. Галицкого. М., изд-во «Машиностроение», 1968.
26. Гала С. И., Емельянов М. С. и Пархоменко В. Д. Пластмассы и аппаратуростроение. Харьков. Изд-во Харьковского Государственного Университета им. А. М. Горького, 1963.
27. Герасимов В. В. Коррозия алюминия и его сплавов. М., изд-во «Металлургия», 1967.
28. Гладыренко С. А., Мясников Л. В., Голованченко С. А. и Вихов А. А. Двухслойные стали в химическом машиностроении. М., изд-во «Машиностроение», 1965.
29. Гликман Л. А. Коррозионно-механическая прочность металлов. М.—Л., Машиз, 1955.
30. Горохов В. С. Аппараты установки для разделения воздуха. М., изд-во «Машиностроение», 1965.
31. Громова А. И., Кузнецова В. Н., Морозова И. К. и др. Коррозионная стойкость реактивных материалов. Справочник. Под ред. В. В. Герасимова. М., Атомиздат, 1966.
32. Гудков С. И. Механические свойства стали при разных температурах. Справочник. М., изд-во «Металлургия», 1967.
33. Давиденко И. Д., Кошовой В. Ф. и Носенко А. И. Электронная сварка толстостенной стали 1Х18Н9Т. — «Сварочное производство», 1966, № 3.
34. Двухслойные листы, плакированные коррозионностойкой сталью. Каталог. М., изд-во «Металлургия», 1966. (ЦНИИчермет им. И. П. Бардина).
35. Детали и узлы сосудов и аппаратов. Штуцера, заглушки, люк-люки из двухслойной стали на p_d от 2,5 до 64 $кгс/см^2$. Нормаль машиностроения МН 4679—73—МН 4602—63. М., Стандартгиз, 1963.
36. Детали трубопроводов. Сортамент труб технологических трубопроводов из углеродистой стали на p_d до 100 $кгс/см^2$. Нормаль машиностроения МН 2566—61. М., Стандартгиз, 1962.
37. Детали трубопроводов. Сортамент труб технологических трубопроводов из легированной стали на p_d до 100 $кгс/см^2$. Нормаль машиностроения МН 4705—63. М., Стандартгиз, 1963.
38. Детали трубопроводов. Сортамент труб технологических трубопроводов на углеродистой и легированной стали на p_d от 160 до 400 $кгс/см^2$. Нормаль машиностроения МН 3558—62. М., Стандартгиз, 1963.
39. Детали трубопроводов из углеродистой стали сварные на p_d до 100 $кгс/см^2$. Нормаль машиностроения МН 2877—62—МН 2893—62. М., Стандартгиз, 1962.
40. Детали трубопроводов на легированной стали сварные на p_d до 100 $кгс/см^2$. Нормаль машиностроения МН 4739—63—МН 4760—63. М., Стандартгиз, 1963.
41. Детали трубопроводов из углеродистой стали. Отводы гнутые и детали штампованные на p_d до 100 $кгс/см^2$. Нормаль машиностроения МН 2909—62—МН 2921—62. М., Стандартгиз, 1962.
42. Детали трубопроводов из легированной стали на p_d до 100 $кгс/см^2$. Отводы гнутые, детали кованные и штампованные. Нормаль машиностроения МН 4751—63—МН 4762—63. М., Стандартгиз, 1964.
43. Детали трубопроводов из углеродистой и легированной стали на p_d от 160 до 400 $кгс/см^2$. Отводы гнутые, детали кованные и штампованные. Нормаль машиностроения МН 3568—62—МН 3580—62. М., Стандартгиз, 1966.
44. Детали трубопроводов из углеродистой и легированной стали на p_d от 160 до 400 $кгс/см^2$. Отводы и тройники литые. Нормаль машиностроения МН 3994—62—МН 4003—62. М., Стандартгиз, 1963.
45. Детали трубопроводов из углеродистой стали. Компенсаторы линейные и стальные на $p_d < 6$ $кгс/см^2$. Нормаль машиностроения МН 2894—62—МН 2908—62. М., Стандартгиз, 1962.
46. Детали трубопроводов на p_d от 200 до 1000 $кгс/см^2$. Конструкция и размеры. Нормаль машиностроения МН 4959—63—МН 5010—63. М., Стандартгиз, 1964.
47. Детали трубопроводов. Соединения с арзеновыми кольцами (на p_d 320 $кгс/см^2$). Нормаль машиностроения МН 2374—61—МН 2401—61. М., Стандартгиз, 1962.
48. Детали трубопроводов. Соединения с торцовым уплотнением на p_d 320 $кгс/см^2$. Нормаль машиностроения МН 2286—61—МН 2312—61 и МН 2421—61. М., Стандартгиз, 1962.
49. Детали трубопроводов из алюминиевого сплава на рабочее давление 2,5 $кгс/см^2$. Нормаль машиностроения МН 1100—60—МН 1112—60. М., Стандартгиз, 1960.
50. Детали трубопроводов на меди на рабочее давление 6 $кгс/см^2$. Нормаль машиностроения МН 1138—60—МН 1166—60. М., Стандартгиз, 1960.
51. Детали трубопроводов из латуни на рабочее давление 6 и 209 $кгс/см^2$. Нормаль машиностроения МН 1113—60—МН 1187—60. М., Стандартгиз, 1960.
52. Детали трубопроводов из полиэтилена на p_d 2,5; 6 и 10 $кгс/см^2$. Нормаль машиностроения МН 3094—61—МН 3018—61. М., Стандартгиз, 1962.
53. Детали трубопроводов из виннипласта на p_d 2,5; 6 и 10 $кгс/см^2$. Нормаль машиностроения МН 1427—61—МН 1459—61. М., Стандартгиз, 1961.
54. Детали трубопроводов, футерованных полиэтиленом и виннипластом на p_d 10 и 16 $кгс/см^2$. Нормаль машиностроения МН 5030—63—МН 5053—63. М., Стандартгиз, 1961.
55. Детали трубопроводов из фалолита. Нормаль машиностроения МН 1251—61—МН 1259—61. М., Стандартгиз, 1961.
56. Детали трубопроводов. Прокладки уплотнительные для резьбовых соединений. Нормаль машиностроения МН 3138—62. М., Стандартгиз, 1962.
57. Довжук Г. Т., Иванец К. Я. и Анастасьев В. Ф. Оборудование нефтеперерабатывающих заводов. Учеб. пособ. для техникумов. М., Гостехиздат, 1962.
58. Домашнев А. Д. Конструирование и расчет химических аппаратов. Учебник для вузов. М., Машиз, 1961.

59. Дятлова В. Н. Коррозионная стойкость металлов и сплавов. Справочник. Изд. 2-е, переработ. и доп. М., изд-во «Машиностроение», 1964.
60. Егоров И. А. Фаслит и его применение в химической промышленности. — Коррозия в химических производствах и способы защиты. Под ред. В. И. Кручинина. Вып. 6, М., Госхимиздат, 1956.
61. Единые измерения и обозначения физико-технических величин. Справочник. Изд. 2-е, переработ. и доп. М., изд-во «Недра», 1966.
62. Емкостная гуммированная химическая аппаратура. Каталог-справочник. М., ЦИТИХимнефтемаш, 1965.
63. Емкостная стальная сварная аппаратура. Каталог. М., ЦИТИХимнефтемаш, 1966.
64. Емкостная стальная сварная аппаратура. Каталог-справочник. М., ЦИТИХимнефтемаш, 1966.
65. Емкостная сварная аппаратура из алюминия. Каталог-справочник. М., ЦИТИХимнефтемаш, 1966.
66. Журавлев В. П. и Николаева О. Н. Машиностроительные стали. Справочник для конструкторов. Москва—Свердловск, Машиз, 1962.
67. Загорский С. В. и Соколов М. Д. Руководящие материалы по котлонадзору. Изд. 2-е, переработ. и доп. Ч. 3. М., Металлургия, 1963.
68. Зябляк Е. Б. и Вольфсон С. И. Кирролоустойчивые трубы ХХВФ для печей и коммунальной нефтеперерабатывающих заводов. — Защита от коррозии оборудования для переработки нефти. М., изд-во «Недра», 1964.
69. Затворы быстродействующие байонетного типа. Конструкция и основные размеры. Нормы машиностроения МП 3581—62 и МП 3582—62. М., Стандартиз, 1962.
70. Захаров А. А. Расчет фланцевых соединений трубопроводов и цилиндрических сосудов. М.—Л., Машиз, 1958 (ЦКТИ, Кн. 33).
71. Захарочкин Л. Д. и Борисов Л. Г. Коррозия металлов в сплавах в 100%-ной фосфорной кислоте. — Защита от коррозии оборудования для переработки нефти. М., изд-во «Недра», 1964.
72. Зыбин Ю. А. и Самосатский Н. И. Наполненные фторопласты. Киев, изд-во «Техника», 1965.
73. Измеритель уровня ИУВШ-ШК рязанского завода «Теплоприбор». Инструкция по монтажу и эксплуатации. Рязань, ДНТИП, 1966.
74. Ильин В. Г. Теплообменные аппараты из графита. М., изд-во «Машиностроение», 1965.
75. Камерштейн А. Г., Рождественский В. В. и Ручимский М. Н. Расчет трубопроводов на прочность. Справочная книга. М., Госгостехиздат, 1943.
76. Канторович З. В. Основы расчета химических машин и аппаратов. Учебник для машиностроительных вузов. Изд. 3-е, переработ. и доп. М., Машиз, 1960.
77. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. Уч. пособ. для химико-технологических вузов. Изд. 7-е, М., Госхимиздат, 1961.
78. Каталог химического оборудования. Завод «Коростеникмаш». М., изд-во «Машиностроение», 1964.
79. Каховский Н. И., Юценко К. А. и Фарутин В. Г. Материалы для сварки новых нержавеющей и кислотостойких сталей с пониженным содержанием никеля. — Автоматическая сварка, 1962, № 2.
80. Криляков В. М. Выбор оптимального диаметра болтов фланцевого соединения. — Тезисы докладов научно-технической конференции. Л., Госхимиздат, 1966 (ЛТИ им. Ленсовета).
81. Клей и технология склеивания. Сборник статей. Под ред. Д. А. Кардымова. М., Оборонгиз, 1960.
82. Клянов И. Я. Дерево как материал для химической аппаратуры. М., Госхимиздат, 1956.
83. Клянов И. Я. Коррозия химической аппаратуры и коррозионностойкие материалы. Изд. 3-е, переработ. и доп. М., Машиз, 1960.
84. Клячкин Я. Л. Электродуговая сварка алюминия. М., Машиз, 1959.
85. Кожухотрубчатые теплообменники общего назначения. Ташкент. Среднеазиатский межреспубликанский ин-т научнотехнической информации и пропаганды, 1964.
86. Кожухотрубчатые теплообменники общего назначения. Ташкент. Среднеазиатский межреспубликанский ин-т научнотехнической информации и пропаганды, 1964.
87. Колодные аппараты. Каталог-справочник. М., ЦИТИХимнефтемаш, 1966.
88. Констигитов А. Н., Самсолов Н. А., Вейцман М. А. и Израилев К. Я. Аппараты и оборудование нефтеперерабатывающих заводов. Расчет и проектирование. Справочная книга. Госгостехиздат, 1960.
89. Коренько Ю. М. Сварка меди под флюсом. М., изд-во «Машиностроение», 1967.
90. Коридор Б. А. Техника высоких давлений в химии. Отв. ред. А. В. Валушкин. М.—Л., Госхимиздат, 1952.
91. Коррозионная и химическая стойкость материалов. Справочник. Под ред. Н. А. Домбская. М., Машиз, 1954.
92. Коррозионная стойкость и применение алюминиевых сплавов на нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводах для изготовления конденсационно-холодильного и теплообменного оборудования. М., ЦИТИХимнефтемаш, 1966.
93. Кошелев П. Ф. и Вельев С. Е. Прочность и пластичность конструктивных материалов при высоких температурах. Справочное пособие. М., изд-во «Машиностроение», 1967.
94. Кривцель Б. А. и Сидорова Л. Г. Полипропилен. Киев, изд-во «Техника», 1964.
95. Лабутина А. Л. Каучуки и антикоррозионной техники. М., Госхимиздат, 1962.
96. Лабутина А. Л., Монахова К. С. и Федорова Н. С. Антикоррозионные и герметизирующие материалы на основе жидких каучуков. М.—Л., изд-во «Химия», 1966.
97. Лазутина В. И., Сухов С. И. и Горюнов А. В. Нормализация химического оборудования из пластмасс и графитовых материалов. — Неметаллические материалы в химическом машиностроении. М., изд-во «Машиностроение», 1967 (Труды НИИХиммаша. Вып. 53).
98. Лашко Н. Ф. и Лашко С. В. Пайка металлов. Изд. 2-е, переработ. М., изд-во «Машиностроение», 1967.
99. Лещинский А. А. К вопросу об укреплении отапливаемых в стальных сосудах и аппаратах, работающих под давлением. — Химическое и нефтяное машиностроение, 1965, № 11.
100. Лещинский А. А. К вопросу выбора болтов во фланцевых соединениях. — Химическое и нефтяное машиностроение, 1967, № 6.
101. Лещинский А. А. и Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Справочник. Под ред. П. Н. Логинова. М.—Л., Машиз, 1963.
102. Левин И. А. и Квалышевская Т. В. Коррозионная стойкость титана ВТ1 и его сплава ВТ5 в жирных кислотах. Защита от коррозии оборудования для переработки нефти. М., изд-во «Недра», 1964.
103. Теплообменники ТТ. Емкостная стальная сварная аппаратура. Каталог-справочник. М., ЦИТИХимнефтемаш, 1968.
104. Лопышев С. П. и Петрунин И. В. Пайка металлов. М., изд-во «Машиностроение», 1966.
105. Махарон В. М., Викентьев Т. А., Каденя В. Н. и Самсонов А. А. Гуммированные и биметаллические машины и аппараты химических производств. Конструирование и изготовление. Под ред. В. М. Макарова. М., Машиз, 1963.
106. Марочник стали для машиностроения. Общемашиностроительные типовые и руководящие материалы. Серия С.Т.Х. ОМТМР 0086-001—65. М., НИИ информации по машиностроению, 1965.
107. Материалы в машиностроении. Выбор и применение. Справочник в пяти томах. Т. 1. Цветные металлы и сплавы. Под общ. ред. Н. В. Кудрявцев. М., изд-во «Машиностроение», 1967.
108. Машиностроение. Энциклопедический справочник. Т. 2. Инженерные расчеты в машиностроении. Отв. ред. М. А. Саввин. М., Машиз, 1948.
109. Машиностроение. Энциклопедический справочник. Т. 4. Материалы машиностроения. Отв. ред. Н. А. Одыг. М., Машиз, 1947.
110. Маньяк Л. И. и Богдановский А. В. К вопросу об ультразвуковой сварке полимерных материалов. — «Химические массы», 1960, № 12.
111. Медведев Ю. С., Корнев П. М. и Левин И. А. Свойства и свариваемость нержавеющей стали с пониженным содержанием никеля. — Коррозия, материалы, покрытия. М., изд-во «Недра», 1967. [Труды Газпрофнефтемаша. Вып. 4 (14)].
112. Мельченко А. И., Теганов Н. И., Криляков В. М. и Михалев И. Ф. К выбору режима работы вальцов быстрогохода металлов. — «Химическое и нефтяное машиностроение», 1965, № 6.
113. Михалев И. П., Колобня З. П. и Батязат В. П. Технология сплавов металлов. М., изд-во «Машиностроение», 1965.
114. Михайлов-Михеев П. В. Справочник по металлургическим материалам турбино- и моторостроения. М.—Л., Машиз, 1961.
115. Редукторы ПО2, мотор-редукторы МПО2 и МРВ. Каталог. Харьков—Тамбов, 1966. (УкрНИИХиммаш и завод «Тамбовхиммаш»).
116. Некоторые синтетические клеи. Справочные таблицы. Соет. Л. Т. Зинялов. М., ЦБТИ, 1960.
117. Неметаллические коррозионностойкие материалы в химическом машиностроении. VI серия. Новые материалы. М., ЦБТИ, 1963. (ЦИТИП по автоматизации и машиностроению).
118. Николаев Г. А. и Ольшанский П. А. Новые методы сварки металлов и пластмасс. М., изд-во «Машиностроение», 1966.
119. Нормы расчета элементов паровых котлов на прочность. Руководящие указания. Вып. 11, Л., ЦКТИ, 1966.
120. Писков Б. А. и Смеляков Н. П. Конструирование литых деталей. Киев—Москва, Машиз, 1967.
121. Писков А. В. и Пруселин В. З. Способы сварки пластмасс и методы контроля сварных соединений при производстве химической аппаратуры. — Неметаллические материалы

- в химическом машиностроении. М., изд-во «Машиностроение», 1967. (Труды НИИхиммаша. Вып. 52).
122. Окраска металлических поверхностей. Выбор технологических процессов подготовки поверхности, нанесения и сушки лакокрасочных покрытий. Рекомендации по выбору оборудования. Нормативы расхода лакокрасочных материалов. Исходные технико-экономические показатели. ОМТМ 7312-003-85. Изд. 3-е. М., НИИ информации по машиностроению, 1965.
123. Ольшанская Н. А. и Мордвинцева А. В. Ультразвуковая сварка пластических масс. — «Сварочное производство», 1959, № 9.
124. Опоры вертикальных сосудов и аппаратов. Нормалы машиностроения МН 5128—53—МН 5134—63. М., Стандартиз, 1964.
125. Опоры (лапы, стойки) вертикальных и горизонтальных сосудов и аппаратов. Нормалы машиностроения МН 5126—63—МН 5134—63. М., Стандартиз, 1964.
126. Оптимальные цены на сталь обыкновенного качества. Прейскурант № 01-02. М., Прейскурантиз, 1967.
127. Оптимальные цены на качественную сталь. Прейскурант № 01-03. М., Прейскурантиз, 1967.
128. Оптимальные цены на трубы стальные и чугунные. Прейскурант № 01-04. М., Прейскурантиз, 1967.
129. Оптимальные цены на прокатно-каустовые и прессованные изделия из цветных металлов и сплавов. Прейскурант № 02-06. М., Прейскурантиз, 1967.
130. Оптимальные цены на отливки, проковки и горячие штамповки. Прейскурант № 25-01. М., Прейскурантиз, 1967.
131. Оптимальные цены на химическую продукцию. Ч. II. Синтетические смолы и пластические массы. Прейскурант № 05-01. М., Прейскурантиз, 1967.
132. Оптимальные цены на лакокрасочные материалы. Прейскурант № 05-04. М., Прейскурантиз, 1967.
133. Основные рекомендации по изготовлению и монтажу технологических и санитарно-технических трубопроводов из полиэтиленовых труб. М., ЦБТИ, 1966.
134. Покрытия лакокрасочные (по металлу). Выбор покрытия. Основная характеристика. Нормалы машиностроения МН 4200—62. М., Стандартиз, 1963.
135. Полимеры среднего давления. Под ред. С. В. Щуцкого. М.—Л., изд-во «Химия», 1965.
136. Полиakov К. А., Вурухин Я. О., Володин В. Е. и др. Неметаллические кислотоупорные материалы в химической промышленности. Под общ. ред. К. А. Поликова. М.—Л., Госхимиздат, 1941.
137. Поляков К. А., Славянская Ф. В. и Полякова К. Н. Коррозия в химически стойкие материалы. Уч. пособ. для техникумов. М.—Л., Госхимиздат, 1953.
138. Правила устройств и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. М., Углетехиздат, 1957 (Комитет по надзору за безопасным ведением работ в промышленности и по горному надзору при Совете Министров СССР. Госгортехнадзор СССР).
139. Принадлежности вертикальные для аппаратов с переходными узлами устройствами. Типы, параметры, конструкции и основные размеры. Нормалы машиностроения МН 5855—66—МН 5873—66. М., Стандартиз, 1966.
140. Промышленные трубопроводная арматура. Каталог-справочник. М., ЦНИИТмаш, 1967.
141. Приемышников В. П. Трубопроводы и аппаратура из кварцевого стекла. — «Химическая промышленность», 1954, № 1.
142. Рабкин Д. М., Гуревич С. М. и Бугрий Ф. С. Сварка цветных металлов. Москва—Киев, изд-во «Машиностроение», 1957.
143. Рахмилевич Р. В. и Зусмановская С. И. Расчет фланцев сосудов и аппаратов. — «Химическое и нефтяное машиностроение», 1968, № 7.
144. Регулятор уровня камерный, цилиндрический, шкальный с механизмом погрыва РУКЦ-ШК завода «Нефтекиммаш». Инструкция по монтажу и эксплуатации И-1163. Л., завод «Нефтекиммаш», 1960.
145. Редакция и полнота металлов. Под ред. С. И. Матвеева. М., ЦНИИТмаш, 1952.
146. Решетки под насыди из колец Рашига диаметром 25, 50 и 80 мм. Конструкция и основные размеры. Нормалы машиностроения МН 4095—62—МН 4117—62. М., Стандартиз, 1963.
147. Решетов А. И. и Макарова Е. И. Полиэтиленовые и применение их в технике. Л.—М., Госхимиздат, 1953.
148. Рыжик Э. М. Сварка цветных металлов и сплавов. Обзор. ЛДНТП, 1958.
149. Самосацкий Н. Н. Полиэтилен как химически стойкий материал. Киев, Гостехиздат, 1963.
150. Самосов В. Г., Харахад В. Г., Мироенко Н. И. и др. Противокоррозионные пластмассовые покрытия. Киев, изд-во «Техника», 1965.
151. Сафонилов А. И. Электродная сварка жаропрочной перлитовой стали ЗМ415 (20Х3МФ). — «Автоматическая сварка», 1961, № 8.
152. Сборники-инструкции по изготовлению, монтажу и испытанию технологических трубопроводов различного назначения. М., ЦБТИ, 1967.
153. Сварка нефтезаводской и химической аппаратуры из двухслойных сталей толщиной 8—40 мм. Руководящие материалы. Изд. 2-е, переработ. и доп. Волгоград, Нижне-Волжское ЦБТИ, 1967.
154. Сварка пластмасс. Справочные материалы по газопламенной обработке металлов. М., Машиз, 1960 (ВНИИавтоген. Вып. 20).
155. Свойства сталей и сплавов, применяемых в котлотурбостроении. Руководящие указания. Вып. 16. Л., ЦКТИ. Ч. 1, 2, 1966; Ч. 3, 1967.
156. Семичкин С. Е. Современные способы сварки пластических масс. М., Трудрезерват, 1959.
157. Семичкин С. Е. и Филаретов Г. Контактная сварка металлов и пластмасс. М., изд-во «Московский рабочий», 1962.
158. Сильфоны бронзовые, полуметаллические и стальные. Нормалы машиностроения МН 418—64—МН 426—64 и МН 428—64—МН 431—64. М., Стандартиз, 1964.
159. Славин Д. О. и Штейнмак Е. Б. Металлы и сплавы в химическом машиностроении и аппаратуростроении. Справочник. М., Машиз, 1951.
160. Славянская Ф. В. и Истрина З. Ф. Стойкость металлов в четыреххлористом углероде. — Сб. статей НИИхиммаша. Вып. 12. Под ред. К. А. Поликова. М., Машиз, 1952.
161. Соколатексов П. Г. и Кутепов С. М. Исследование напряженного состояния корпуса витого теплообменника с жестким сердечником с учетом крутильных напряжений. — «Химическое и нефтяное машиностроение», 1968, № 7.
162. Сополимер этилена с пропаном низкого давления. Под ред. С. В. Щуцкого. М.—Л., изд-во «Химия», 1965.
163. Сосуды и аппараты высокого давления. Нормы и методы расчета на прочность. РТМ 121—65. М., Стандартиз, 1965.
164. Сосуды и аппараты сварные стальные. Технические требования. Нормалы машиностроения МН 72—63. М., Стандартиз, 1963.
165. Сосуды и аппараты стальные сварные совместно от 10 до 630 ат. Нормалы машиностроения МН 4380—63. М., Стандартиз, 1963.
166. Сосуды и аппараты стальные сварные. Узлы и детали. Днища полушаровые. Конструкция и исполнительные размеры. Нормалы машиностроения МН 4704—63. М., Стандартиз, 1964.
167. Сосуды и аппараты стальные сварные. Рубашки неразъемные. Узлы и детали. Конструкция и исполнительные размеры. Нормалы машиностроения МН 3391—61—МН 3394—62. М., Стандартиз, 1962.
168. Сосуды и аппараты. Рубашки отъемные. Нормалы машиностроения МН 4061—62—МН 4063—62. М., Стандартиз, 1963.
169. Сосуды и аппараты стальные сварные. Узлы и детали. Фланцевые соединения. Нормалы машиностроения МН 3968—62—МН 3988—62. М., Стандартиз, 1963.
170. Сосуды и аппараты стальные сварные. Узлы и детали. Вводы и выходы труб. Конструкция и исполнительные размеры. Нормалы машиностроения МН 4004—62—МН 4007—62. М., Стандартиз, 1963.
171. Сосуды и аппараты стальные. Узлы и детали. Воблики на p_0 от 6 до 61 kg/cm^2 . Нормалы машиностроения МН 3919—62—МН 3921—62. М., Стандартиз, 1963.
172. Сосуды и аппараты медные. Основные узлы и детали. Лопы. Нормалы машиностроения МН 5231—64—МН 5233—64. М., Стандартиз, 1964.
173. Сосуды и аппараты медные. Основные узлы и детали. Тарелки, колпачки и стойки опорные. Сборник VI. Нормалы машиностроения МН 5257—64—МН 5265—64. М., Стандартиз, 1964.
174. Сосуды и аппараты медные. Основные узлы и детали. Штуцера и вводы труб медных через штуцера в гильзы на $p_0 = 6 \text{ kg/cm}^2$. Сборник III. Нормалы машиностроения МН 5240—64—МН 5242—64. М., Стандартиз, 1964.
175. Сосуды и аппараты медные. Основные узлы и детали. Воблики, бортировки и патрубки на $p_0 = 6 \text{ kg/cm}^2$. Сборник II. Нормалы машиностроения МН 5234—64—МН 5239—64. М., Стандартиз, 1964.
176. Сосуды и аппараты с эмальным покрытием. Сборники. Типы, параметры и основные размеры. Нормалы машиностроения МН 4053—62. М., Стандартиз, 1963.
177. Сосуды и аппараты с эмальным покрытием. Котлы выпарные. Типы, параметры и основные размеры. Нормалы машиностроения МН 4054—62. М., Стандартиз, 1963.
178. Сосуды и аппараты с эмальным покрытием. Нутч-фильтры. Типы, параметры и основные размеры. Нормалы машиностроения МН 4065—62. М., Стандартиз, 1963.
179. Сосуды и аппараты с эмальным покрытием. Друк-фильтры. Типы, параметры и основные размеры. Нормалы машиностроения МН 4084—62. М., Стандартиз, 1963.
180. Сосуды и аппараты с эмальным покрытием. Теплообменники. Типы, параметры и основные размеры. Нормалы машиностроения МН 4077—62. М., Стандартиз, 1963.
181. Сосуды и аппараты. Сварки черных, цветных металлов и биметаллов. Конструктивные элементы сварных швов. Приса-

181. Дочные материалы. Нормы машиностроения МН 2236—61—МН 2285—61, РТМ 30—61. М., Стандартгиз, 1961.

182. Сосуды из пластмасс. Типы, параметры и основные размеры. Нормы машиностроения МН 3208—62 и МН 3207—62. М., Стандартгиз, 1962.

183. Справочник машиностроителя в шести томах. Изд. 2-е, испр. и доп. Т. 3. М., Машиз, 1955.

184. Справочник по котлонадзору. Под общ. ред. М. П. Морозова. Изд. 3-е, переработ. и доп. М.—Д., Госэнергоиздат, 1961.

185. Справочник по машиностроительным материалам в четырех томах. Под ред. Г. И. Погодина-Алексеева. Т. 1—4. М., Машиз, 1959—1960.

186. Справочник по пластическим массам. Под ред. М. И. Гарбаря, М. С. Акутина и Н. М. Егорова. М., изд-во «Химия», 1967.

187. Стали с пониженным содержанием никеля. Справочник. Под ред. М. В. Приданцова и Г. Л. Лившица. М., Металлургиздат, 1961 (ЦНИИЧермет им. И. П. Вардина. Ин-т качественных сталей).

188. Суслив Н. И., Григорьев А. Д., Пименов И. В. и др. Неметаллические материалы. Справочник. Под ред. Н. И. Сулова. Москва—Свердловск, Машиз, 1962.

189. Таблицы коррозионной стойкости. М., изд-во «Металлургия», 1963. (ЦНИИЧермет им. М. П. Вардина).

190. Пластичные теплообменники для химической и нефтяной промышленности. Информационный справочник. М., ЦНИИХимнефтемаш, 1968.

191. Теплообменные элементы погружного типа из графита. Нормы машиностроения МН 5111—63. М., Стандартгиз, 1964.

192. То м а н о в Н. Д. Теория коррозии и защиты металлов. М., 1960 (АН СССР, Ин-т физ. химии).

193. Теплообменники спиральные стальные. Каталог-справочник. М., ЦНИИХимнефтемаш, 1968.

194. Т у ф а н о в Д. Г. Коррозионная стойкость некоторых никельмолибденовых и хромоникелевых нержавеющей сталей в хлоридах и других агрессивных средах. — «Металлоиспытание и термическая обработка металлов», 1964, № 11.

195. Т у ф а н о в Д. Г. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей. Справочник. М., изд-во «Металлургия», 1963.

196. Ультраграфитовая химическая аппаратура. М., ГОСНИТИ, 1962.

197. Уровнемер гидростатический УГ-1-11 рязанского завода «Теплоприбор». Инструкция по монтажу и эксплуатации. Рязань, ДНТИП, 1960.

198. Устройства для строповки сосудов и аппаратов. Конструкция и размеры. Нормы машиностроения МН 2602—61—МН 2613—61. М., Стандартгиз, 1962.

199. Ф а б р и к а н г Т. Л. и В о л ь т м а н В. Л. Асбестовый и его применение в химической промышленности. М., Госхимиздат, 1958.

201. Финансовые свойства сталей и сплавов в энергетике. Справочник. Под ред. Б. Е. Нейма изд-во «Энергия», 1967.

201. Ф р о л о в В. Н. Волнистые компенсаторы обменных аппаратов и трубопроводов. М., ЦНИИ маш, 1968.

202. Фторопластики. Завидо-Уральское ЦВТИ

203. Харитонов З. Р. Изделия из АТМ-венные полимеров в антикоррозионной технике. М., 1962.

204. Химическая аппаратура из графитовых и Каталог-справочник. Изд. 2-е, переработ. и доп. М., Химнефтемаш, 1968.

205. Химическое оборудование из керамики. Справочник. М., ЦНИИХимнефтемаш, 1967.

206. Химическое оборудование типовое малое. Каталог-справочник. Раздел 1. М., ЦНИИХимнефтемаш, 1965.

207. Химическое оборудование типовое малое. Каталог-справочник. Раздел 2. М., ЦНИИХимнефтемаш, 1965.

208. Химическое оборудование. Эмалированная аппаратура. Каталог. М., ЦНИИХимнефтемаш, 1964.

209. Х в я м у ш и н Ф. Ф. Нержавеющие стали. Переработ. и доп. М., изд-во «Металлургия», 1967.

210. Ш в а р ц Г. Л., К р и с т а л ь М. М., Л о в а В. Н. Новые металлические материалы для машиностроения. Новые материалы и их применение в машиностроении. М., ЦНИИХимнефтемаш, 1963.

211. Ш в а р ц Г. Л. и С и д о р к и н а Ю. С. Стойкие в серной кислоте и других агрессивных средах. НИИХиммаша. Вып. 27. Под ред. Ю. М. Виноградова. М., ЦНИИХимнефтемаш, 1959.

212. Ш е в ч е н к о В. А. и М е й т и н Я. М. Пластики. Киев, изд-во «Техника», 1964.

213. Ш е д р о в К. П. и Г и к м а н Э. Л. Железные материалы. Справочное пособие. Л., изд-во «Машиностроение», 1965.

214. Щ у ц к и й С. В. и П у р к и н В. С. В. Под общ. ред. С. В. Щуцкого. Л.—М., Госхимиздат, 1962.

215. Электроды для дуговой сварки и наплавки. ИЭС им. Е. О. Патова. Киев, изд-во «Наукова Думка», 1962.

216. Электрошлаковая сварка. Изд. 2-е, испр. и доп. В. Е. Патова. Москва—Киев, Машиз, 1959.

217. Эмалирование изделий из черных металлов. РТМ 62—62. М., Стандартгиз, 1963.

218. Ю к а л о в М. Н. Химически стойкие отливоны, металлы и сплавы в химическом машиностроении. Труды НИИХиммаша, Вып. 40. М., ОНТИ, 1962.

ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Колонка	Строка	Напечатано	Должно быть	По моему взгляду																
23	—	Табл. 3.1, 1-я графа справа, 10-я сверху	$\leq 55\%$	$\leq 55^\circ \text{C}$	Корр.																
35	—	Табл. 2.3, 1-я графа слева, 4, 8, 10-я сверху	20П-П 24П-П 35П-П 45П-П	30П-П 25П-П 35П-П 45П-П	Авт.																
78	—	Табл. 2.8, 2-я графа справа, 7-я снизу	лексической	граммической	*																
108	—	Табл. 2.37	ВМС-3м	ВМС-3м	Тип.																
171	—	Табл. 3.33	1113	1138	Корр.																
171	—	Табл. 3.34, 3-я графа слева, 1-я снизу	,45	-0,45	Корр.																
182	—	Табл. 4.1, 2-я графа слева, 32-я снизу	не сваривается	сваривается	Авт.																
197	—	Табл. 4.18, 3-я графа слева, 2-я снизу	73	75	Корр.																
243	—	Табл. 7.4, 3-я графа слева, 3-я снизу	> 55	< 55	*																
278	Левая	Продолжение табл., 3-я графа слева, 12-я сверху	X17H10T	X18H10T	Авт.																
281	Правая	Продолжение табл., 1-я графа справа, 3-я снизу	0X 7T	0X17T	Тип.																
283	*	Продолжение табл., 1-я графа справа, 3-я снизу	X18X10T	X18H10T	Корр.																
290	Левая	Продолжение табл., 3-я графа слева, 17-я сверху	0X18H28M3D3T	0X22H28M3D3T	Авт.																
304	*	Продолжение табл., 3-я графа слева, 15-я сверху	BT1-0	BT1-1	*																
390	*	Рис. 10.10, а	$50^\circ \pm 5^\circ$ $4 = 4 \pm 14$ $70^\circ \pm 5^\circ$ $3 = 3 \pm 14$ мм	$40^\circ \pm 5^\circ$ $5 = 5 \pm 14$ $50^\circ \pm 5^\circ$ $4 = 4 \pm 14$ мм	Техн. ред.																
381	*	Рис. 10.11, в			*																
407	*	1-я снизу			Авт.																
423	Правая	4-я сверху	$7\delta \cdot \eta$	$\frac{7\delta}{p} \eta$	Тип.																
433	*	20-я сверху	разных	разных	Авт.																
435	*	3-я снизу	0,12	3,412	Тип.																
435	*	4-я снизу	0,3 8	0,328	*																
450	—	Табл. 18.7	Рисунок неверен	Рисунок аналогичный табл. 16.6	Техн. ред.																
476	Левая	10-я сверху	$-0,001) \cos$	$-0,001) \cdot \cos^2$	Авт.																
481	Правая	4-я сверху	$\frac{p}{\sigma_{ad}} \eta$	$\frac{\sigma_{ad} \eta}{p}$	Тип.																
482	Левая	3-я снизу	$\sigma_a <$	$\sigma_a >$	Авт.																
482	Правая	8-я снизу	0,008	0,008*	*																
520	Левая	Табл. 20.6, 2-3-я графа слева	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><td></td><td>37</td></tr> <tr><td>25</td><td>40</td></tr> <tr><td></td><td>43</td></tr> <tr><td>35</td><td>48</td></tr> </table>		37	25	40		43	35	48	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><td></td><td>37</td></tr> <tr><td>25</td><td>40</td></tr> <tr><td></td><td>43</td></tr> <tr><td>32</td><td>48</td></tr> </table>		37	25	40		43	32	48	Тип.
	37																				
25	40																				
	43																				
35	48																				
	37																				
25	40																				
	43																				
32	48																				
528	*	Табл. 20.27	$1,2 \sqrt{b}^*$	$3,8 \sqrt{b}^*$	Авт.																
529	*	18-я сверху	$1,2 \sqrt{b} = 1,2 \sqrt{0,02}$	$3,8 \sqrt{b} = 3,8 \sqrt{20} = 17 \text{ мм}$	*																
529	*	24-я снизу	350	360	*																
529	*	12-я снизу	$320 - 0,375 \cdot 25 = 1,1 \cdot 9$	$360 - 0,275 \cdot 25 = 1,1 \cdot 90$	*																
529	Правая	1-я снизу	31,3	31,3, 0,06	*																
529	Левая	15-я снизу	(20,10)	(20,12)	*																
531	Левая	Табл. 20.32	(20,11)	(20,13)	*																
531	*	25-я снизу	$1,2 \sqrt{b} = 1,2 \sqrt{0,0175} =$	$3,8 \sqrt{b} = 3,8 \sqrt{17,5} = 15,85 \text{ мм}$	*																
533	Правая	Табл. 20.34	$D_2 - D_1$	$D_2 - D_1$	Корр.																
534	*	6-я сверху	20,23	20,33	Авт.																
534	*	10-я сверху	(20,20)	(20,31)	*																
535	Левая	3-я сверху	$\frac{P_2}{P_1}$	$\frac{P_2}{P_1}$	Тип.																
545	Правая	11-я снизу	2,493	2,493	Авт.																
546	Левая	3-я сверху	130	230	*																
575	*	24-я сверху	$\frac{m}{n}$	$\frac{m}{n}$	*																
593	*	2-я снизу	21,14	21,11	*																
605	*	6-я сверху	(23,3)	(33,2)	*																
608	—	4-я сверху	(23,15)	(23,16)	*																
618	—	Табл. 24.4, 4 и 5-я сверху	обозначенной	обозначенной	*																
618	Левая	26-я снизу	ТЧКП	ТЧКП	*																
638	Правая	23-я сверху	в °C	в 1/°C	*																
685	Левая	22-я сверху	(рис. 24.3)	(рис. 26.3)	*																
685	Левая	22-я сверху	(20,13)	(20,17)	*																
685	Правая	формула (20.25)	$D_2 H_L \left(\sum_{l=1}^{i-1} h_{l-1} + \frac{h_i}{2} \right)$	$D_2 H_L \left(\sum_{l=1}^{i-1} H_{L-1} + \frac{H_i}{2} \right)$	*																
691	Правая	3-я снизу	0,6332	0,8202	*																
692	Левая	14-я снизу	0,6332	0,8202	*																
704	—	Табл. 31.2, 3-я графа справа	$\frac{M_1 \cdot \text{сек}/\text{м}^2}{M_2 \cdot \text{сек}/\text{м}^2}$	$\frac{M_1 \cdot \text{сек}/\text{м}^2}{M_2 \cdot \text{сек}/\text{м}^2}$	*																
706	—	Табл. 31.4, 7-я сверху	$\frac{D_1}{D_2} \cdot \frac{h_1}{h_2}$	$\frac{D_1}{D_2} \cdot \frac{h_1}{h_2}$	Тип.																
707	—	Полная и рис. 31.2	между болтами	августу осили болтов	Авт.																
713	Правая	20-я снизу	$W \gg W'$	$W \gg W' =$	Корр.																
715	Левая	14-я сверху	$\frac{\alpha}{\alpha}$	$\frac{\alpha}{\alpha}$	Авт.																
742	*	25-я снизу	$1 \cdot 10^*$	$1 \cdot 10^{-8}$	Авт.																
746	—	1-я графа справа, 20-я снизу			*																
814	—	табл. 20.4, тип XV			Должны быть указаны, на что виды микрографий опущены.																

430; 491; 496; 509
521; 526; 529; 537
588; 592; 594; 595; 596
598; 602; 608; 609;
610; 649; 684; 688;
690; 702; 707; 720;
744

укрепляющих ребер и соединении их с прямоугольной стенкой из листового проката см. на рис. 15.5.

Для литых обечайек применяются ребра, как правило, прямоугольного поперечного сечения (рис. 15.21).

Расчет коробчатых обечайек, работающих под внутренним или наружным давлением

Расчет таких обечайек с достаточной для практики точностью рекомендуется производить по упрощенной методике, рассматривая каждую из четырех прямоугольных плоских стенок, из которых образуется обечайка, как пластину (гладкую или укрепленную ребрами), равномерно нагруженную избыточным давлением p или p_K .

Последовательность конструирования и расчета прямоугольной плоской стенки в этом случае следующая: устанавливается возможность укрепления стенок ребрами и в случае наличия такой возможности выбирается из конструктивных соображений схема расположения укрепляющих ребер и расстояние между ними;

расчетом определяется толщина гладкой прямоугольной плоской стенки (при отсутствии ребер) или ее элемента, ограниченного ребрами;

расчетом определяется предварительный момент сопротивления укрепляющего ребра исходя из условия восприятия одним ребром (без учета наличия плоской стенки) половины всей нагрузки на плоскую стенку*, по определенному расчетному моменту сопротивления ребра выбирается его поперечное сечение;

определяется момент сопротивления составного поперечного сечения ребра с частью стенки, приходящейся на одно ребро;

проверяется максимальное изгибающее напряжение в ребрах, которое должно быть в пределах $(1 \div 1,1) \sigma_{изд}$.

В случае невыполнения последнего условия, размеры укрепляющих ребер необходимо соответственно изменить или пересмотреть схему расположения ребер и расстояние между ними, произвести расчет заново.

Номинальная расчетная толщина гладкой прямоугольной плоской стенки или ее элемента s' в мм (см), ограниченного ребрами исходя из их прочности определяется по формуле

$$s' = Kb \sqrt{\frac{p}{\sigma_{изд}}}, \quad (15.71)$$

где b — меньшая сторона прямоугольной плоской стенки или ее элемента, ограниченного ребрами, в мм (см);

$K = f \left(\frac{l}{b} \right)$ — коэффициент, зависящий от способа закрепления стенки или ее элемента по периметру (l — большая сторона прямоугольной стенки или ее элемента).

Значения коэффициента K следует брать по графику рис. 15.22, построенному по табличным данным [183] для конструктивных материалов, имеющих величину коэффициента Пуассона $\mu \approx 0,3$.

Плоские прямоугольные стенки и их элементы считаются жестко закрепленными по краям при наличии на них фланцев, укрепляющих ребер и других аналогичных деталей, а также при сопряжении стенок под углом при условии, что конструкция и размеры этих деталей удовлетворяют требованиям жесткости согласно расчету.

Толщина стенки с учетом приращок определяется по формуле (15.10).

* Данное условие рекомендуется как дополнительное с последующей проверкой правильности его при определении максимального напряжения в ребрах, рассматривая работу последних совместно с плоской стенкой.

Предварительный расчетный момент сопротивления укрепляющего ребра W'_p в $\text{м}^3 (\text{см}^3)$, считая его как балку на двух опорах, нагруженную половинным (см. выше) расчетным давлением p или p_K по площади, соответствующей части прямоугольной стенки, приходящейся на одно ребро (см. рис. 15.20), определяется по формулам для укрепления по схеме I

$$W'_p = \frac{B^3 p}{2K \sigma_{изд}}; \quad (15.72)$$

для укрепления по схеме II

$$W'_p = \frac{L^3 b p}{2K \sigma_{изд}}; \quad (15.73)$$

для укрепления по схеме III — для поперечных ребер

$$W'_p = \frac{B^3 l p}{4K \sigma_{изд}}; \quad (15.74)$$

и для продольных ребер

$$W'_p = \frac{L^3 b p}{4K \sigma_{изд}}; \quad (15.75)$$

где K — коэффициент, зависящий от способа закрепления ребра на опорах; при жестком закреплении $K = 12$; при нежестком закреплении $K = 8$.

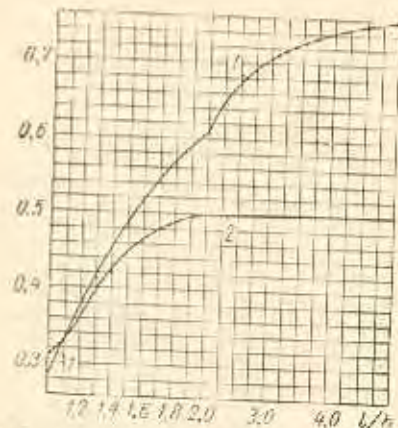


Рис. 15.22. Графики для определения коэффициента K в формуле (15.71):

1 — для прямоугольной плоской стенки, шарнирно опертой по периметру; 2 — для прямоугольной плоской стенки жестко закрепленной по периметру

Формулы (15.72) — (15.75) получены из общеизвестного выражения для момента сопротивления $W_p = \frac{M_{из}}{\sigma_{изд}}$ путем

подстановки в него значений $M_{из} = \frac{Pl}{2K}$, P (выраженного через p) и соответствующей длины ребра.

Выбор профиля и размеров поперечного сечения ребер следует производить в зависимости от технологии изготовления и величины W'_p . В частности, для прямоугольного сечения ребра при рекомендуемом отношении толщины его к высоте $1 : 5$ номинальная расчетная толщина ребра s' в мм (см) определяется по формуле

$$s' = 0,62 \sqrt[3]{W'_p}. \quad (15.76)$$

Формула (15.76) получена из общеизвестного выражения момента сопротивления для прямоугольного сечения $W = \frac{bh^3}{6}$ путем подстановки в него значений $b = s_p$ и $h = 5s_p$. Толщина ребра с учетом прибавок определяется по формуле (15.10). Выбор прибавок см. в гл. 14, а также в настоящей главе — для цилиндрических вальцованных и литых обечайек.

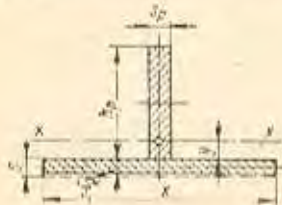


Рис. 15.23. Поперечное сечение элемента плоской прямоугольной стенки с укрепляющим ребром. Для поперечных ребер $x = l$; для продольных ребер $x = b$ (см. рис. 15.20)

При применении в качестве ребер сортового проката (профилей L, П, З и др.) номер соответствующего профиля выбирается с моментом сопротивления ближайшим большим расчетному W_p и с учетом двусторонней прибавки из коррозии.

Момент сопротивления составного поперечного сечения ребра с частью стенки W_{pc} в $\text{м}^3 (\text{см}^3)$, приходящейся на одно ребро (рис. 15.23), определяется по формуле

$$W_{pc} = \frac{J_p + J_c + F_p(0,5h_p - y)^2 + F_c[y + 0,5(s - C_k)]^2}{h_p - y}, \quad (15.77)$$

где F_p — площадь принятого поперечного сечения ребра, за вычетом площади, образованной прибавкой на коррозию, в $\text{м}^2 (\text{см}^2)$;
 F_c — площадь принятого поперечного сечения части плоской стенки, приходящейся на одно ребро, за вычетом площади, образованной прибавкой на коррозию, в $\text{м}^2 (\text{см}^2)$;
 J_p — момент инерции площади F_p относительно оси, проходящей через центр тяжести ее параллельно стенке, в $\text{м}^4 (\text{см}^4)$;
 J_c — момент инерции площади F_c относительно оси, проходящей через центр тяжести ее параллельно стенке, в $\text{м}^4 (\text{см}^4)$;
 y — расстояние от стенки до центра тяжести площади составного поперечного сечения в $\text{м} (\text{см})$.
 В формуле (15.77) F_c в $\text{м}^2 (\text{см}^2)$ и y в $\text{м} (\text{см})$ имеют следующие значения:

$$F_c = x(s - C_k); \quad (15.78)$$

$$y = \frac{F_p h_p - F_c(s - C_k)}{2(F_p + F_c)}. \quad (15.79)$$

Толщина гладких прямоугольных плоских стенок обечайки, имеющих разную ширину, обычно принимается одинаковой исходя из расчета для наибольшей.

При укреплении стенок обечайки ребрами последние целесообразно располагать так, чтобы наименьшие по величине расстояния между ними (l и b) были бы во всех стенках примерно одинаковыми.

Максимальные напряжения на изгиб в укрепляющих ребрах σ_u в $\text{Мн}/\text{м}^2 (\text{кгс}/\text{см}^2)$ должны отвечать следующим условиям:

при укреплении по схеме I

$$\sigma_u = \frac{B^2 l p}{K W_{pc}} \leq 1,1 \sigma_{ud}^*; \quad (15.80)$$

при укреплении по схеме II

$$\sigma_u = \frac{L^2 b p}{K W_{pc}} \leq 1,1 \sigma_{ud}^*; \quad (15.81)$$

при укреплении по схеме III в поперечном направлении

$$\sigma_u = \frac{B^2 l p}{2K W_{pc}} \leq 1,1 \sigma_{ud}^*; \quad (15.82)$$

в продольном направлении

$$\sigma_u = \frac{L^2 b p}{2K W_{pc}} \leq 1,1 \sigma_{ud}^*. \quad (15.83)$$

Формулы (15.80)–(15.83) получены из общеизвестного выражения напряжения на изгиб $\sigma_u = \frac{M_u}{W}$ — путем подстановки в него значений

$M_u = \frac{Pl}{K}$, P (выраженного через p) и соответствующей длины ребра.

Пример 15.7. Определить толщину стенок литой коробчатой обечайки и поперечное сечение укрепляющих ребер (расположение ребер по схеме III, рис. 15.20) аппарата, работающего под внутренним давлением, по следующим данным (рис. 15.24): материал обечайки — сталь 20Л ($\sigma_s^{150} = 400 \text{ Мн}/\text{м}^2$; $\sigma_T^{150} = 200 \text{ Мн}/\text{м}^2$), литые обычного качества; внутренняя среда — газ; $C_k = 2 \text{ мм}$; $p = 1 \text{ Мн}/\text{м}^2$ ($10 \text{ кгс}/\text{см}^2$); $t_c = 150^\circ \text{С}$; $H = 0,6 \text{ м}$; $B_1 = l = 0,3 \text{ м}$; $H = 1,2 \text{ м}$; $b = b_1 = 0,15 \text{ м}$; обечайка с надежно укрепленными отверстиями; $\eta = 1$.

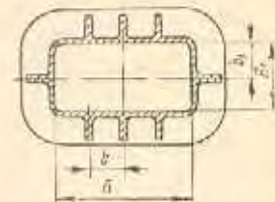
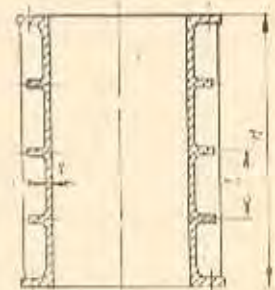


Рис. 15.24. К примеру 15.

Номинальное допускаемое напряжение для стали 20Л по пределу прочности определяем по формуле (14.4)

$$\sigma_s^* = \frac{\sigma_s^t}{n_s} = \frac{400}{3,6} = 111 \text{ Мн}/\text{м}^2 \text{ (1110 кгс}/\text{см}^2).$$

Номинальное допускаемое напряжение по пределу текучести определяем по формуле (14.5)

$$\sigma_{ud}^* = \frac{\sigma_T^t}{n_T} = \frac{200}{2,1} = 95 \text{ Мн}/\text{м}^2 \text{ (950 кгс}/\text{см}^2).$$

Последнее как меньшее является расчетным.

Окончательно допускаемое напряжение принимаем по формуле (14.11)

$$\sigma_{ud} = \sigma_{ud}^* \eta = 95 \cdot 1 = 95 \text{ Мн}/\text{м}^2 \text{ (950 кгс}/\text{см}^2).$$

Производим расчет прямоугольной плоской стенки.

* Номинальное допускаемое напряжения на 10% рекомендуется, учитывая приближенный (в сторону меньшей) метод расчета.

вия устойчивости ее от извужного давления в рубашке, определяется по формуле*

$$s' = \frac{H + \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A}, \quad (17.8)$$

где

$$A = 2 \frac{\sigma_r^t}{p_r D_a} \left(1 + 0,1 \frac{D_a}{l}\right) \left(1 + 5 \frac{D_a}{l}\right);$$

$$B = p_r \left(1 + 5 \frac{D_a}{l}\right);$$

$$C = 0,03 p_r D_a k;$$

l — наружный размер поперечного сечения полутрубы в месте присоединения ее к корпусу аппарата и в мм (см). Для полутруб из труб $d_n = 89$ мм $l = 82,8$ мм; для полутруб из труб $d_n = 57$ мм $l = 56$ мм;

σ_r^t — предел текучести материала стенки аппарата при рабочей температуре в Мн/м^2 (кгс/см^2);

p_r — знак на устойчивость, принимается равным 1,6;

u — отклонение корпуса аппарата от круглой формы в %, принимается 1,5%.

Значения остальных величин те же, что и в (17.1). Следует отметить, что величина номинальной расчетной толщины стенки аппарата, исходя из условия прочности при $p_r \leq 3,2 \text{ Мн/м}^2$, является большей по сравнению с номинальной расчетной толщиной ее, исходя из условия устойчивости и, следовательно, определяющей. При $p_r \geq 4,0 \text{ Мн/м}^2$ для $D_a > 1000$ мм большей, определяющей является номинальная расчетная толщина стенки, исходя из условия устойчивости.

Толщина стенки днища корпуса аппарата принимается не менее толщины стенки цилиндрической обечайки его.

Толщина стенок с учетом прибавок во всех случаях определяется по формуле (15.10).

Пример 17.1. Определить толщину стенок цилиндрических обечайки и днища вертикального сварного аппарата и рубашки для примера 15.2 (рис. 15.10), если рубашка в аппарате будет с круглыми вытинаниями (см. табл. 17.3), по следующим данным: материал обечайки и днища аппарата — сталь марки Х18Н10Т ($\sigma_{др}^{150} = 138 \text{ Мн/м}^2$); $C_k = 1$ мм; расчетное внутреннее давление в аппарате $p = 1 \text{ Мн/м}^2$ (10 кгс/см^2); расчетное давление в рубашке $p_r = 1,2 \text{ Мн/м}^2$ (12 кгс/см^2); материал рубашки — сталь марки Ст.3 ($\sigma_{др}^{150} = 131 \text{ Мн/м}^2$); $C_k = 1$ мм; $t_{em} = 150^\circ \text{C}$; $D_a = 0,8$ м; $H = 2,4$ м; коэффициент прочности продольного сварного шва в цилиндрической обечайке аппарата $\varphi_{ш} = 1$; днища цельные без швов.

Номинальную расчетную толщину стенки цилиндрической обечайки и днища аппарата определяем по формуле (17.1)

$$s' = 0,15 \frac{p}{\varphi_{ш} \sigma_{др}} D_a + l \sqrt{\frac{p_r}{5 \varphi_{ш} \sigma_{др}}}$$

$$= 0,15 \frac{1}{1,138} 0,8 + 0,14 \sqrt{\frac{1,2}{5 \cdot 0,8 \cdot 131}}$$

$$= (0,00087 + 0,00672) = 7,52 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 7,52 \text{ мм.}$$

Выбираем прибавку на округление толщины стенки (до ближайшего большего размера по сортаменту) $C_a = 1,48$ мм.

* Из ОН 26-01-76-68

Суммарную прибавку к номинальной расчетной толщине стенки (при $C_a = 0$) определяем по формуле (14.12)

$$C = C_k + C_a + C_n = 1 + 0 + 1,48 = 2,48 \text{ мм.}$$

Толщину стенки с учетом прибавок определяем по формуле (15.10)

$$s = s' + C = 7,52 + 2,48 = 10 \text{ мм.}$$

Номинальную расчетную толщину стенки рубашки определяем по формуле (17.2)

$$s'_p = 0,7s' = 0,7 \cdot 7,52 = 5,26 \text{ мм.}$$

Выбираем прибавку на округление толщины стенки (до ближайшего большего размера по сортаменту) $C_a = 1,74$ мм.

Суммарную прибавку к номинальной расчетной толщине стенки (при $C_a = 0$) определяем по формуле (14.12)

$$C = C_k + C_a + C_n = 1 + 0 + 1,74 = 2,74 \text{ мм.}$$

Толщину стенки рубашки с учетом прибавок определяем по формуле (15.10)

$$s = s'_p + C = 5,26 + 2,74 = 8 \text{ мм.}$$

Допускаемое давление в рубашке при принятой толщине стенки аппарата определяем по формуле (17.3)

$$p_{до} = \frac{5 \varphi_{ш} \sigma_{др}}{l^2} \left[(s - C_k) - 0,15 \frac{p}{\varphi_{ш} \sigma_{др}} D_a \right]^2 = \frac{5 \cdot 0,8 \cdot 131}{0,14^2} \left[(0,01 - 0,001) - 0,15 \frac{1}{1,138} 0,8 \right]^2 = 1,77 \text{ Мн/м}^2 \text{ (17,7 кгс/см}^2\text{)}.$$

Пример 17.2. Определить толщину стенок цилиндрической обечайки аппарата и рубашки (из полутруб) для данных примера 17.1, если рубашка в аппарате будет из полутруб, изготовленных в виде спирали из цилиндрической обечайки корпуса (см. табл. 17.4). $d_n = 57$ мм, $s_n = 4$ мм, $l = 75$ мм.

Номинальную расчетную толщину стенки цилиндрической обечайки аппарата исходя из условия прочности определяем по формуле (17.4)

$$s' = 0,125 \frac{p}{\varphi_{ш} \sigma_{др}} D_a + d_n \sqrt{\frac{p_r}{2 \varphi_{ш} \sigma_{др}}}$$

$$= 0,125 \frac{1}{1,138} 0,8 + 0,049 \sqrt{\frac{1,2}{2 \cdot 0,8 \cdot 131}} =$$

$$= 0,000725 + 0,00372 \approx 4,45 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 4,45 \text{ мм.}$$

Суммарную прибавку к номинальной расчетной толщине стенки (при $C_a = 0$ и $C_n = 0,55$ мм) определяем по формуле (14.12)

$$C = C_k + C_a + C_n = 1 + 0 + 0,55 = 1,55 \text{ мм.}$$

Толщину стенки с учетом прибавок определяем по формуле (15.10)

$$s = s' + C = 4,45 + 1,55 = 6 \text{ мм.}$$

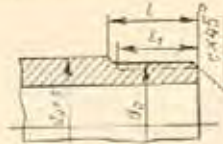
Определим расчетную толщину стенки полутрубы рубашки. Предварительно находим значение величин:

$$A = \frac{\varphi_{ш} \sigma_{др}}{p_r} - 2,1 = \frac{0,8 \cdot 131}{1,2} - 2,1 = 85,3;$$

$$B = \frac{l - d_n}{l} \left(\frac{s_n}{s} \right)^3 = \frac{0,075 - 0,049}{0,075} \left(\frac{4}{12} \right)^3 = 0,1025.$$

Таблица 19.4

Концевые части труб в разъемных соединениях для $p_y = 250 \text{ Мн/м}^2$
(по данным Иркутского филиала НИИХиммаша)



D_y	$d_n \times t$	d_k	l	l_1	c
мм					
3	12×4,5	M10×1	20	30	1
6	17×5,5	M16×1,5	30	40	1,5
10	28×9	M27×2	40	50	
15	40×12,5	M39×2	45	55	
25	63×19	M60×3	60	75	2
32	79×22,5	M76×3	70	85	
40	98×29	M95×3	85	100	

Примечания:
1. Материал труб — сталь марок 20Х3МВФ и 1Х12В2МФ.
2. Разъемное соединение труб осуществляется с помощью: резьбовых муфт для $D_y = 3-15 \text{ мм}$ (см. табл. 22.4), резьбовых фланцев для $D_y = 25-40 \text{ мм}$ (см. табл. 21.26).
3. Уплотнение — коническими линзами (см. табл. 20.18).

Толщина стенки трубы s с учетом прибавок определяется по формуле (15.10).

Выбор прибавки C см. в гл. 14. При этом прибавку C_0 на округление толщины следует принимать, исходя из ближайшего большего размера по соответствующему сортаменту на трубы.

Для металлических труб при определении суммарной прибавки C следует вводить еще дополнительную технологическую прибавку C_0 , значение которой в мм определяется по формуле [119]

$$C_0 = ks' \geq 0,5, \quad (19.1)$$

где k — коэффициент, берется по табл. 19.5.

Таблица 19.5

Коэффициент k в формуле (19.1) в зависимости от технологического допуска на толщину стенки трубы [119]

Трубы	Наибольший минусовой допуск на толщину стенки, %				
	15	12,5	10	5	
Прямые	0,18	0,14	0,11	0,05	
Гнутые при	$1,9 \leq \frac{R_{cp}}{d_n} \leq 3,5$	0,2	0,17	0,15	0,1
	$\frac{R_{cp}}{d_n} \geq 3,5$	0,18	0,15	0,12	0,06

Пример 19.1. Определить толщину стенки прямой бесшовной трубы в аппарате, подверженной внутреннему давлению, по следующим данным: материал трубы — сталь марки 20 ($\sigma_0 = 147 \text{ Мн/м}^2$); $d_n = 0,057 \text{ м}$; $p = 20 \text{ Мн/м}^2$ (200 кгс/см^2); допуск по толщине стенки — 15%; среда инертная ($C_k = 0$).

Определим отношение определяющих параметров σ_0 и p ($\Phi = 1$)

$$\frac{\sigma_0}{p} \Phi = \frac{147}{20} \cdot 1 = 7,35 < 25.$$

Номинальную расчетную толщину стенки трубы для данного отношения согласно табл. 15.6 определяем по формуле (15.2)

$$s' = \frac{d_n p}{2\sigma_0 \Phi + p} = \frac{0,057 \cdot 20}{2 \cdot 147 \cdot 1 + 20} = 3,64 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 3,64 \text{ мм}.$$

Определим технологическую прибавку к номинальной расчетной толщине стенки трубы по формуле (19.1). Коэффициент k берем по табл. 19.5, $k = 0,18$

$$C_0 = ks' = 0,18 \cdot 3,64 = 0,655 \text{ мм}.$$

Выбираем прибавку на округление толщины стенки (до ближайшего большего размера по сортаменту) $C_0 = 0,205 \text{ мм}$.

Суммарную прибавку к номинальной расчетной толщине стенки определяем по формуле (14.12)

$$C = C_k + C_s + C_0 + C_0 = 0 + 0 + 0,655 + 0,205 = 0,86 \text{ мм}.$$

Толщину стенки трубы с учетом прибавок определяем по формуле (15.10)

$$s = s' + C = 3,64 + 0,86 = 4,5 \text{ мм}.$$

Таблица 20.7

Прокладки из паронита для фланцевых соединений стальных сварных аппаратов (по данным Гипронефтемаша)



D ₀	D	Уплотнительные поверхности		D ₀	D	Уплотнительные поверхности	
		гладкие	шпунные			гладкие	шпунные
		D ₁				D ₁	
мм							
400	459	431	1500	1564	1528		
450	509	481	1600	1669	1629	1633	
500	559	531	1700	1769	1729	1733	
600	659	631	1800	1869	1829	1833	
700	759	731	1900	1969	1929	1933	
800	859	829	2000	2069	2025	2033	
900	959	929	2200	2278	2234	2238	
1000	1059	1029	2400	2478	2434	2438	
1100	1159	1129	2600	2678	2628	2638	
1200	1264	1234	2800	2878	2828	2838	
1300	1364	1334	3000	3078	3028	3038	
1400	1464	1428	—	—	—	—	

Примечания:
1. Толщина s прокладок может быть 2 и 3 мм.
2. Данные прокладок применяются при P_y < 0,0 МН/м².

Таблица 20.8

Прокладки из неметаллических материалов для фланцевых соединений медных аппаратов (по данным ВНИИМаша)

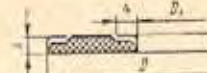


D ₀	Для фланцев типов				D ₀	Для фланцев типов			
	1 2х3		1 2х3			1 2х3		1 2х3	
	D		D ₁			D		D ₁	
мм									
300	345	410	315	320	1100	1160	1235	1120	1130
400	445	510	415	420	1200	1260	1335	1220	1230
500	545	610	515	520	1300	1360		1320	
600	645	710	615	620	1400	1460		1420	
700	745	810	715	720	1500	1560		1520	
800	845	910	815	820	1600	1660		1620	
900	945	1010	915	920	1800	1860		1820	
1000	1050	1115	1010	1025	2000	2060		2020	

Примечания:
1. Типы фланцев см. в табл. 21.20.
2. Толщина прокладок: для D₀ < 1100 мм s = 1, 2 и 3 мм; для D₀ > 1200 мм s = 2 и 3 мм.
3. Материал прокладок: паронит, резина, картон, картон асбестовый, фторопласт-4.

Таблица 20.9

Прокладки металлические с мягкой набивкой для фланцевых соединений стальных сварных аппаратов (по данным Гипронефтемаша)

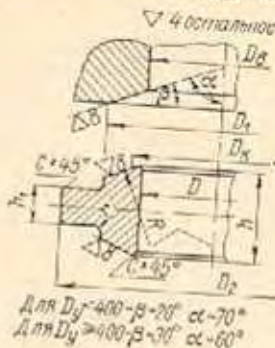


P _y МН/м²	D ₀	D	D ₁	P _y МН/м²	D ₀	D	D ₁
1,0—2,5	400	461	436	1,0	1200	1279	1249
4,0—6,4		489	461				
1,0—2,5	450	519	491	1,6—2,5	1300	1391	1361
4,0—6,4		539	511				
1,0—2,5	500	569	541	4,0	1400	1497	1461
4,0—6,4		589	561				
1,0—2,5	600	660	641	1,6—2,5	1500	1654	1604
4,0		694	666				
6,4	700	709	681	4,0	1600	1719	1669
1,0		769	741				
1,6—2,5	800	779	751	1,6—2,5	1700	1834	1784
4,0		794	766				
6,4	900	824	796	4,0	1800	1929	1879
1,0		874	844				
1,6—2,5	1000	884	854	1,6—2,5	1900	2034	1984
4,0		904	868				
6,4	1100	934	898	4,0	2000	2139	2089
1,0		974	944				
1,6—2,5	1200	981	951	1,6—2,5	2100	2234	2184
4,0		1009	973				
6,4	1300	1059	1023	4,0	2200	2349	2299
1,0		1074	1044				
1,6—2,5	1400	1089	1059	1,6	2300	2434	2384
4,0		1119	1075				
6,4	1500	1164	1120	1,6	2400	2534	2484
1,0		1174	1144				
1,6—2,5	1600	1189	1159	1,6	2500	2634	2584
4,0		1224	1180				
6,4	1700	1274	1230	1,6	2600	2734	2684
1,0		1324	1280				

Примечания:
1. Толщина s прокладок: при оболочке из стали s ≈ 3,4 мм; при оболочке из латуни и алюминиевого сплава s ≈ 3,6 мм.
2. Материал прокладок: оболочки толщиной 0,3 мм — из латуни марки Л62 и алюминия марки АД; оболочки толщиной 0,2 мм — из стали марок 0Х13-М, 0Х18Н10-М и 0Х18Н12Б-М; набивка — асбестовый картон.

Конструктивные элементы для линз $D_D > 200$ мм

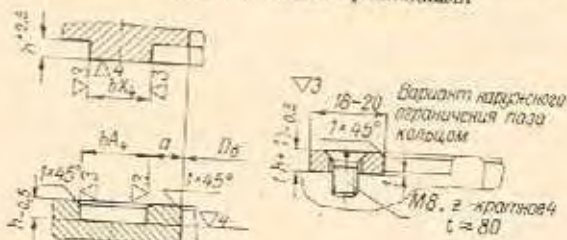
Таблица 20.21



D_D	D	D_K	D_1	D_2	R	h	h_1	r	α
мм									
> 200 до 400	$D_D + 3$	$D + 14$	$D_D + 50$	$\geq D_1 + 2(r + c + 1)$	$\frac{D_K}{2 \sin \beta}$	$\geq 2 \left(\sqrt{R^2 - \frac{D^2}{4}} - \sqrt{R^2 - \frac{D_1^2}{4}} \right) + h_1 + 2r + 2$	30	5	1,5
> 400		$D + 20$	$D_D + 55$				40	6	2,0

Конструктивные элементы уплотнительных поверхностей для обтюрации типа III с металлическими прокладками

Таблица 20.22



D_D	a	Для прокладок			
		прямоугольного сечения		«круглого сечения»	
		δ^*	h	d	h
< 50	3-4	-	-	-	-
50 до 100	5	≥ 3	5	d	$d + 2$
$\nabla 100 \times 200$	6	$\geq 4,5$	6		
$\nabla 200 \times 400$	7	≥ 6	8	-	-
$\nabla 400 \times 600$	8	≥ 8		-	-
> 600					

* Определяется по формулам: (20.4) - для обтюрации без самоуплотнения, (20.5) - для обтюрации с самоуплотнением.

При вакууме в аппарате для обеспечения самоуплотнения шарика прокладка должна быть не более b_s , определенной по формуле (20.6). При этом в (20.6) вместо p подставляется разность между атмосферным и остаточным давлением в аппарате.

Пример 20.1. Определить размеры конструктивных элементов и расчетную силу осевого сжатия обтюратора типа I-B (рис. 20.5) без самоуплотнения для фланцевого присоединения прямоугольной крышки по следующим данным: $L_s \times B_s = 0,6 \times 0,4 \text{ м}^2$; $b = 0,02 \text{ м}$; $p = 0,1 \text{ Мн/м}^2$ (1 кгс/см^2); $t_c = 20^\circ \text{ С}$; материал уплотняемых поверхностей — сталь марки Ст.3; прокладка типа I резиновая.

Средняя длина уплотняемой поверхности
 $L_{nc} = 2(L_s + b) + 2(B_s + b) =$
 $= 2(0,6 + 0,02) + 2(0,4 + 0,02) = 2,08 \text{ м}.$

Эффективную ширину уплотнения определяем из табл. 20.27 для $b > 15 \text{ мм}$

$$b_s = 1,2 \sqrt{b} = 1,2 \sqrt{0,02} = 0,017 \text{ м}.$$

Определяем из табл. 20.28 коэффициент $k = 1$.

Расчетную силу осевого сжатия прокладки при рабочих условиях определяем по формуле (20.1)

$$P'_n = L_{nc} b_s k p = 2,08 \cdot 0,017 \cdot 1 \cdot 0,1 =$$

 $= 0,00354 \text{ Мн (354 кгс)}.$

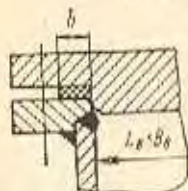


Рис. 20.5. К примеру 20.1

Пример 20.2. Определить размеры конструктивных элементов и расчетную силу осевого сжатия обтюратора типа III-A для фланцевого соединения по следующим данным: $D_s = 1 \text{ м}$; $p = 3 \text{ Мн/м}^2$ (30 кгс/см^2); $t_c = -190^\circ \text{ С}$; прокладка типа I паронитовая; материал уплотняемых поверхностей — сталь марки X18H10T.

Выбираем размеры уплотнительных поверхностей по табл. 20.5 для $p_s = 4 \text{ Мн/м}^2$ (ближайшего большего) — $D_2 = 1,117 \text{ м}$; $b = 0,02 \text{ м}$.

Средний диаметр уплотнения
 $D_n = D_2 - b = 1,117 - 0,02 = 1,097 \text{ м}.$

Эффективную ширину уплотнения определяем по табл. 20.27 для $b > 15 \text{ мм}$

$$b_s = 1,2 \sqrt{b} = 1,2 \sqrt{0,02} = 0,017 \text{ м}.$$

Определяем из табл. 20.28 коэффициент $k = 2,5$.

Расчетную силу осевого сжатия прокладки при рабочих условиях определяем по формуле (20.1)

$$P'_n = \pi D_n b_s k p = \pi \cdot 1,097 \cdot 0,017 \cdot 2,5 \cdot 3 =$$

 $= 0,439 \text{ Мн (43 900 кгс)}.$

Пример 20.3. Определить размеры конструктивных элементов и расчетную силу осевого сжатия обтюратора типа IV-A без самоуплотнения для присоединения крышки аппарата по следующим данным: $D_s = 0,4 \text{ м}$; $p = 25 \text{ Мн/м}^2$ (250 кгс/см^2); $t_c = 300^\circ \text{ С}$; прокладка типа I медная; материал уплотняемых поверхностей — сталь ($\sigma_r^{300} = 350 \text{ Мн/м}^2$).

Из табл. 20.18 выбираем $s = 4 \text{ мм}$.

Из табл. 20.23 определяем: $D_{ns} = D_s + 8 = 400 + 8 = 408 \text{ мм}$; $h = 6 \text{ мм}$; $h_1 = 8 \text{ мм}$.

Удельную нагрузку q на прокладку и коэффициент k определяем из табл. 20.28 — $q = 90 \text{ Мн/м}^2$; $k = 4,75$.

Расчетную ширину уплотнения определяем по формуле (20.4)

$$b' \geq \frac{0,275 D_{ns} p}{\sigma_r^t - 0,275 p - 1,1 q} =$$

 $= \frac{0,275 \cdot 0,408 \cdot 25}{320 - 0,275 \cdot 25 - 1,1 \cdot 9} = 0,01085 \text{ м}.$

Принимаем $b = 11 \text{ мм}$.
 Расчетную силу осевого сжатия прокладки при рабочих условиях определяем по формуле (20.2)

$$P'_n = \pi D_n b q = \pi (0,408 + 0,011) 0,011 \cdot 90 =$$

 $= 1,3 \text{ Мн (130 000 кгс)}.$

Пример 20.4. Определить размеры конструктивных элементов и расчетную силу осевого сжатия обтюратора типа VII фланцевого соединения по следующим данным: $D_s = 0,3 \text{ м}$; $p = 25 \text{ Мн/м}^2$ (250 кгс/см^2); $t_c = 20^\circ \text{ С}$; материал линзы — сталь ($\sigma_r = 320 \text{ Мн/м}^2$); $p_n = 31,3 \text{ Мн/м}^2$.

Из табл. 20.21 имеем: $D = D_s + 3 = 300 + 3 = 303 \text{ мм}$; $D_k = D + 14 = 303 + 14 = 317 \text{ мм}$; $D_1 = D_s + 50 = 300 + 50 = 350 \text{ мм}$; $\alpha = 70^\circ$; $\beta = 20^\circ$;

$$R = \frac{D_k}{2 \sin \beta} = \frac{317}{2 \sin 20^\circ} \approx 460 \text{ мм}; h_1 = 30 \text{ мм}; r =$$

 $= 5 \text{ мм}; c = 1,5 \text{ мм}; D_2 = D_1 + 2(r + c + 1) = 350 +$
 $+ 2(5 + 1,5 + 1) = 365 \text{ мм}; h = 2 \left(\sqrt{R^2 - \frac{D^2}{4}} - \right.$
 $\left. - \sqrt{R^2 - \frac{D_1^2}{4}} \right) + h_1 + 2r + 2 = 2 \left(\sqrt{460^2 - \frac{303^2}{4}} - \right.$
 $\left. - \sqrt{460^2 - \frac{350^2}{4}} \right) + 30 + 2 \cdot 5 + 2 = 60 \text{ мм}; P \approx$
 $\approx 28,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$

Из графика рис. 20.4 имеем $q_a = 0,53 \text{ Мн/м}$.

Расчетную силу осевого сжатия линзы при $\rho_r = 8^\circ$ определяем по формуле (20.3)

$$P'_n = \pi D_n q_a \frac{\sin(\alpha + \rho_r)}{\cos \rho_r} =$$

 $= \pi 0,317 \cdot 0,53 \frac{\sin(70^\circ + 8^\circ)}{\cos 8^\circ} =$
 $= 0,523 \text{ Мн (52 300 кгс)}.$

Проверим условие прочности линзы при гидротестировании по формуле (20.8)

$$\frac{D p_n h}{F} \leq \frac{\sigma_r}{1,1}.$$

Левая часть условия

$$\frac{0,303 \cdot 31,3}{28,5 \cdot 10^{-4}} = 200 \text{ Мн/м}^2.$$

Правая часть условия

$$\frac{320}{1,1} = 291 \text{ Мн/м}^2.$$

Поскольку $200 < 291$ — условие прочности соблюдено.

20.2. БЕСПРОКЛАДОЧНАЯ ОБТЮРАЦИЯ

Беспрокладочная обтюрация применяется в соединениях высокого давления и в тех случаях, когда по температурным, коррозионным или каким-либо другим соображениям невозможно применить прокладки.

Рекомендуемые конструктивные элементы для основных типов беспрокладочных обтюраторов приведены в табл. 20.29—20.32.

Фланцевые соединения подлежат разработке в тех случаях, когда не представляется возможным применить стандартизованные и нормализованные фланцы из-за отсутствия таковых на требуемые параметры (по форме, материалу, давлению, температуре, размерам, обтюрации и т. д.).

В остальных случаях следует применять фланцы по ГОСТам и нормалам на соответствующие или ближайшие большие параметры.

Разработку нового фланцевого соединения надлежит начинать с выбора типа обтюрации и определения ее размеров (см. гл. 20). Затем определяется последовательно: диаметр болтов (шпилек), их количество и, наконец, размеры элементов фланцев.

Допусксовые отклонения в размерах всех типов фланцев: диаметр болтовой окружности $D_0 \pm 0,3$ мм — для $D_0 \leq 500$ мм и $D_0 \pm 0,5$ мм — для $D_0 > 500$ мм; суммарное отклонение расстояний между любыми отверстиями во фланце, измеренными последовательно по хордам между соседними отверстиями, — в пределах ± 1 мм для $D_0 \leq 500$ мм и $\pm 1,5$ мм — для $D_0 > 500$ мм; остальные размеры механически обрабатываемых поверхностей — по 7-му классу точности ОСТа 1010 и ГОСТа 2689—54; размеры литых, кованных и штампованных необрабатываемых поверхностей — по 2-му классу точности ГОСТа 1855—55.

21.1. БОЛТЫ (ШПИЛЬКИ)

Болты (шпильки) и гайки к ним во фланцевых соединениях должны приниматься по соответствующим стандартам и нормалам, причем выбирать их рекомендуется, как правило, с метрической резьбой (с нормальным или мелким шагом).

Диаметр болтов (шпилек) и расстояние между ними во вновь разрабатываемых фланцевых соединениях целесообразно принимать возможно меньшими. Однако диаметр болтов (шпилек) меньше 12, и во всяком случае менее 10 мм, применять не следует, а расстояние между их центрами должно лежать в пределах 2—5 диаметров болта, причем большие из указанных расстояния применяются при малых P_0 , а меньшие — при высоких P_0 .

Всегда следует стремиться расстояние от наружных размеров уплотнения до осей центров болтов (шпилек) выбирать возможно меньшим.

Указанные рекомендации приведут к наиболее рациональной конструкции фланцевого соединения с минимальными габаритами, а следовательно, и наименьшим расходом материала.

Для фланцевых соединений, требующих частой разборки, приведенные рекомендации по уменьшению диаметра болтов и увеличению их количества не всегда являются приемлемыми, поскольку это связано с относительно большим временем, необходимым на сборку и разборку соединения.

Несмотря на это, в таких случаях часто представляется целесообразным применять вместо закладных откидные болты, требующие значительно меньше времени на сборку и разборку соединения, и тогда рекомендации по выбору диаметра болтов во фланцевых соединениях остаются в силе.

Выбор болтов или шпилек в соединениях низкого и среднего давлений обуславливается в основном конструктивными соображениями. При этом применение свертных шпилек является особенно целесообразным в тех случаях, когда это позволяет сократить расстояние от наружных размеров уплотнения до осей центров шпилек. В соединениях высокого давления применяются исключительно шпильки как свертные, так и стальные. Диаметр нарезанной части шпилек в этих соединениях должен быть

равен внутреннему диаметру резьбы в шпильках с нарезанной резьбой и равен среднему диаметру резьбы в шпильках с накатанной резьбой.

Болты (шпильки) и гайки во фланцевых соединениях низкого давления могут применяться штампованные, а в соединениях среднего и высокого давлений должны быть чистые точные.

Длину болтов (шпилек) следует принимать на такого расчета, чтобы в собранном фланцевом соединении за пределами гаек выступали концы (см. рис. 21.1); для болтов (шпилек) $d_0 \leq 45$ мм $s = 0,25d_0$; для болтов (шпилек) $d_0 > 45$ мм $s = 0,2d_0$.

Формы концов у болтов и шпилек для соединений низкого и среднего давлений, а также высокого давления при $D_0 < 300$ мм — усеченный конус, в соединениях аппаратов высокого давления — см. табл. 21.3.

Длина ввертываемой части свертных шпилек в соединениях низкого и среднего давлений установлена соответствующими ГОСТами на шпильки, а в соединениях высокого давления указанную длину рекомендуется принимать не менее $1,5d_0$.

Гайки к болтам (шпилькам) в соединениях низкого и среднего давлений обычно применяются нормальные шестигранные с двумя фасками по соответствующим ГОСТам, а в соединениях, подлежащих частой сборке и разборке, — аналогичные, но высокие.

Высоту гаек к шпилькам в соединениях высокого давления рекомендуется принимать не менее d_0 . К шпилькам и гайкам для соединений высокого давления наряду с конструктивными особенностями предъявляются повышенные требования в части качества изготовления, чистоты обработки и пр.

Данные по выбору материала болтов (шпилек) и гаек помещены в первом разделе. При этом прочность материала болтов (шпилек), как правило, должна быть выше прочности сопрягаемых с ними гаек, а твердость первых — не менее чем на 20 ед. HB больше вторых. Выбор материала болтов (шпилек) и гаек к ним в соединениях, работающих при высоких, низких или переменных температурах, необходимо согласовать с материалом фланцев по коэффициентам температурного удлинения. В частности, в соединениях, работающих при высоких температурах, указанные коэффициенты для материала болтов целесообразно иметь несколько ниже, чем таковые у затягиваемых этими болтами фланцев, а в соединениях, работающих при низких температурах, — наоборот, что приводит к увеличению затяга фланцевых соединений в рабочих условиях и, следовательно, — к повышению надежности их уплотнения.

В табл. 21.1 приведены диаметры резьбы болтов (шпилек), имеющих применение во фланцевых соединениях химических аппаратов, а также некоторые другие данные по болтам, требующиеся при расчетах.

В табл. 21.2 приведены рекомендуемые расстояния между центрами болтов (шпилек) l , диаметры отверстий под них d , а также минимальные расстояния $l_{\text{мин}}$ от цилиндрической стенки или горловины фланца до центров болтов или закладных шпилек и радиус перехода R от цилиндрической или конической части фланца в плоскую.

В табл. 21.3 приведены конструктивные размеры шпилек и гаек для фланцевых соединений аппаратов высокого давления.

Расчет болтов (шпилек) производится следующим образом. Основной исходной величиной при расчете и конструировании прочно-плотного фланцевого соединения является расчетное растягивающее усилие в болтах (шпильках) P_0^* .

Величина P_0^* в значительной степени зависит от вида соединения (без самоуплотнения или с самоуплотнением),

Продолжение табл. 20.1

$P_{\text{у}},$ МН/м ²	$D_{\text{у}}$	d	Типы заглушек				Масса, кг		
			1, 2 х 3	4	1	2		3	4
			H						
мм									
0,25	25	22	10		0,40		0,26		
0,6			12		0,51		0,38		
1,0-2,5			16		0,67		0,50		
4,0			22	25	0,98	0,85	0,84		
6,4			24			1,76		2,30	
10			28			1,86			
16			30			2,28			
20			32			2,89			
0,25	32	28	10		0,57		0,38		
0,6			12		0,74		0,55		
1,0-2,5			16		0,91		0,68		
4,0			22	25	1,33	1,16	1,10		
6,4			24			2,12		2,70	
10			30			2,37			
16			32			3,13			
20			32			3,14			
0,25	40	36	12		0,82		0,68		
0,6			14		1,02		0,88		
1,0-2,5			16		1,24		1,05		
4,0			24	25	1,49	1,37	1,30		
6,4			26	28		2,94		3,30	
10			32			3,25		5,57	
16			34			4,18			
20			34			4,43			
0,25	50	46	12		0,98		0,82		
0,6			14		1,21		1,04		
1,0-2,5			18		1,55		1,31		
4,0			26	30	2,15	2,01	1,91		
6,4			28	32		3,73		4,55	
10			38			4,97		6,03	
16			40			7,14			
20			40			8,13			
0,25	65	60	12		1,23		1,12		
0,6			14		1,54		1,41		
1,0-1,6			14		2,04		1,73		

Продолжение табл. 23.1

$P_{\text{у}},$ МН/м ²	$D_{\text{у}}$	d	Типы заглушек				Масса, кг			
			1, 2 х 3	4	1	2		3	4	
			H							
мм										
2,5	65	60	16		2,29		2,10			
4,0			20		3,03		2,91			
6,4			28	32			5,19			
10			32	36			7,16	6,21		
16			45				10,6	8,45		
20			28				15,6			
0,25			80	76	12		1,78		1,49	
0,6					14		2,18		1,88	
1,0-1,6	18				2,44		2,07			
2,5	22	25			3,21		2,88			
4,0	30	36			4,08		3,83	3,75		
6,4	34	40					6,32	7,95		
10	48						8,55	10,5		
16	52						12,6			
20	52				21,4					
0,25	100	94	12		2,25		1,93			
0,6			14		2,75		2,42			
1,0			16		2,97		2,58			
1,6			20	24	3,51		3,18			
2,5			24	32	5,07		4,62			
4,0			32	36	6,27		6,03	5,82		
6,4			38	45			9,74	11,3		
10			50				13,1	16,1		
16	63				17,8					
20	63				40,4					
0,25	125	118	14		3,85		3,28			
0,6			16		4,30		3,86			
1,0-1,6			22		4,69		4,17			
2,5			28	36	7,83		5,73			
4,0			36	40	10,3		10,0	9,72		
6,4			45	50			15,7	17,9		
10			60				21,9	25,1		
16			70				30,0			
20	70				50,6					

в кованных и ковано-сварных аппаратах высокого давления при $p \geq 10 \text{ Мн/м}^2$, независимо от расположения и размеров крышки.

Прямоугольные фланцевые крышки, независимо от материала их и давления, большей частью выполняются плоскими. При повышенных давлениях среды и значительных размерах крышек их необходимо укреплять ребрами аналогично соответствующим днищам (см. п. 16.5). Основные типовые конструкции плоских фланцевых крышек показаны на рис. 23.2. В табл. 23.1 приведены основные данные о стандартизованных стальных круглых плоских фланцевых крышках (заглушках), применяемых для штуцеров, арматуры и т. п.

Для штуцеров из двухслойной стали с $D_y = 100-500 \text{ мм}$ имеются нормы на заглушки с наплавленными уплотнительными поверхностями: гладкой на $p_y \leq 2,5 \text{ Мн/м}^2$ (МН 4586-63), с шипом на $p_y \leq 6,4 \text{ Мн/м}^2$ (МН 4587-63), с выступом на $p_y = 4,0-6,4 \text{ Мн/м}^2$ (МН 4588-63) и под прокладку овального сечения на $p_y = 6,4 \text{ Мн/м}^2$ (МН 4589-63).

На рис. 23.3 и 23.4 показаны конструкции нормализованных люков с плоскими фланцевыми крышками для сварных стальных аппаратов, а в табл. 23.2-23.4 — основные данные об этих люках.

Таблица 23.1

Пределы применения нормализованных стальных люков в зависимости от температуры среды (по ОН 26-01-10-65 и ОН 26-01-35-67)

$p_y, \text{ Мн/м}^2$	Температура среды, °С									
	<250		<300		<350		<400		<450 < 500	
	Допускаемое рабочее давление, Мн/м ²									
	У	К	У	К	У	К	У	К	У	К
0,3	0,3	0,3	0,27	0,23	0,24	0,21	0,2	0,19	0,16	0,14
0,6	0,6	0,6	0,55	0,46	0,48	0,42	0,4	0,38	0,34	0,3
1,6	1,6	1,6	1,4	1,34	1,25	1,3	1,0	1,23	1,12	0,9
2,5	1,9	2,4	1,5	2,3	1,4	2,1	1,3	1,92	1,76	1,5
4,0	4,0	4,0	3,0	3,36	2,7	3,93	2,4	3,1	2,8	2,1

Примечание. У — для аппаратов из углеродистой стали, К — для аппаратов из коррозионностойкой стали.

Расчет круглых плоских фланцевых крышек, работающих под давлением

Расчет таких крышек состоит в определении высоты их в месте уплотнения и посередине, а также наружного диаметра.

Крышки аппаратов, работающих под избыточным давлением $< 10 \text{ Мн/м}^2$ (см. рис. 23.2), рассчитываются следующим образом.

Номинальная расчетная высота крышки в месте уплотнения h'_n в м (см) определяется по формулам:

для типов II-IV [ОН 26-01-13-65 / Н 1039-65]

$$h'_n = K_1 \sqrt{\frac{p}{\sigma_{из}}}, \quad (23.1)$$

для типов V-VIII [183]

$$h'_n = 0,45 D_n \sqrt{\frac{p}{\sigma_{из}}}, \quad (23.2)$$

Номинальная расчетная высота крышки посередине h'' в м (см) определяется по формулам:

для типа I — по формуле (16.35), в которой D принимается равным D_6 , а $K = 0,4$;

для типов II-IV [ОН 26-01-13-65 / Н 1039-65]

$$h'' = K_2 D_n \sqrt{\frac{p}{\sigma_{из}}}, \quad (23.3)$$

для типов V-VIII [183]

$$h'' = 0,45 D_n \sqrt{\frac{p}{\sigma_{из}}}, \quad (23.4)$$

где P'_6 — расчетное усилие в болтах на растяжение (см. в гл. 21) в Мн (кгс);

D_n — средний диаметр уплотнения в м (см);

p — расчетное давление среды в Мн/м² (кгс/см²);

$\sigma_{из}$ — допускаемое напряжение на изгиб для материала крышки в Мн/м² (кгс/см²);

$K_1 = f\left(\frac{D_6}{D_n}\right)$ — коэффициент, определяемый по графику рис. 23.5;

$K_2 = f\left(\frac{D_6}{D_n}, \psi\right)$ — коэффициент, определяемый по графику рис. 23.6;

$$\psi = 1 + \frac{8b_p k}{D_n};$$

b_p — эффективная ширина прокладки (см. в гл. 20) в м (см);

k — коэффициент прокладки (см. в табл. 20.28).

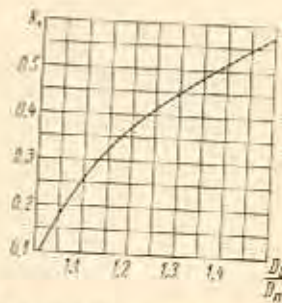


Рис. 23.5. Значения коэффициента K_1 в формуле (23.1)

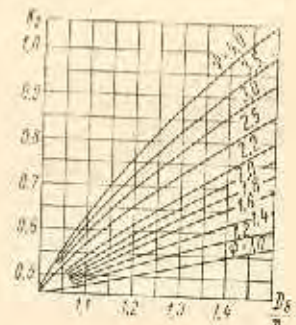


Рис. 23.6. Значения коэффициента K_2 в формуле (23.3)

При наличии в крышке по диаметру D_n отверстий в формулах (23.3) и (23.4) в знаменатель подкоренного выражения следует ввести коэффициент ослабления крышки отверстиями φ_0 .

Значение этого коэффициента ослабления рекомендуется определять по формуле

$$\varphi_0 = \frac{D_n - \sum d}{D_n}, \quad (23.5)$$

где $\sum d$ — сумма диаметров отверстий в крышке по диаметру D_n (для привариваемых труб диаметром отверстия считается внутренний диаметр трубы).

Высоты крышек h и h_n с учетом прибавок определяются по формуле (15.10).

Номинальную расчетную высоту крышки в месте уплотнения h'_n в мм (см) для других типов рекомендуется определять:

для типов II—IV — по формуле (21.50);
 для типов V—VII, рассматривая крышку как прямоугольную пластину, свободно опертую по периметру $2(L_n + B_n)$, равномерно нагруженную давлением p , по формуле*

$$h'_n = \frac{K_1 B_n p}{\tau_{сд}}, \quad (23.11)$$

где K_1 — коэффициент определяется по графику рис. 23.8;

$\tau_{сд}$ — допускаемое напряжение на срез для материала крышки в $Мн/м^2$ ($кгс/см^2$);

Номинальную расчетную высоту крышки посередине h' в мм (см) рекомендуется определять:

для типов V—VII — исходя из рассмотрения крышки как прямоугольной пластины, свободно опертой по периметру $2(L_n + B_n)$, равномерно нагруженной давлением p по формуле

$$h' = B_n \sqrt{\frac{K_2 p}{\sigma_{сд}}}, \quad (23.12)$$

где K_2 — коэффициент определяется по графику рис. 23.8;

для типов II—IV — приближенно, исходя из следующих рассуждений:

по сравнению с типами V и VII на крышку действует дополнительный изгибающий момент от затяга ее болтами.

Усредненно указанный изгибающий момент M_u в $Мн \cdot м/м$ ($кгс \cdot см/см$), приходящийся на единицу длины средней линии уплотнения, будет

$$M_u = \frac{P'_0 l z}{2(L_n + B_n) z'}, \quad (1)$$

напряжение изгиба σ_u в $Мн/м^2$ ($кгс/см^2$) от этого момента в любом сечении крышки можно считать одинаковым и выразить величиной

$$\sigma_u = \frac{6 M_u}{h^2} = \frac{3 P'_0 l z}{(L_n + B_n) h^2 z'}, \quad (2)$$

где $l = 0,5(L_0 - L_n) = 0,5(B_0 - B_n)$ мм (см).

Значения остальных величин см. в формуле (21.50). Преобразуем формулу (23.12), заменив в ней $\sigma_{сд}$ на σ_u

$$\sigma_u = K_2 \frac{B_n^2}{h^2} p. \quad (3)$$

Суммарное напряжение посередине крышки от совместного действия давления и затяга болтов

$$\sigma_u = \frac{3 P'_0 l z}{(L_n + B_n) h^2 z'} + K_2 \frac{B_n^2}{h^2} p. \quad (4)$$

* Получена из формулы $Q = K B_n p$ (максимальная срезающая сила, приходящаяся на единицу длины сечения пластины) [108].

Заменив в (4) σ_u на $\sigma_{сд}$ и решая его относительно h получим формулу для определения номинальной расчетной высоты крышки посередине h' в мм (см) для типов II—IV

$$h' = \sqrt{\frac{3 P'_0 l z}{(L_n + B_n) \sigma_{сд} z'} + K_2 \frac{B_n^2 p}{\sigma_{сд}}}. \quad (23.13)$$

При наличии в крышке отверстий в формулы (23.12) и (23.13) следует ввести коэффициент ослабления крышки отверстиями φ_0 в первой — в знаменатель подкоренного выражения, а во второй — в знаменатель второго члена подкоренного выражения.

Значение указанного коэффициента φ_0 рекомендуется определять по формуле (23.5), заменив в ней D_n на B_n . Высоты крышек h_n и h с учетом прибавок определяются по формуле (15.10).

Расчетные наружные размеры крышек l_ϕ и B_ϕ (см. рис. 23.2) определяются: для типов I—IV — как для соответствующих фланцев (см. в гл. 21); для типов V—VII — в соответствии с обтяжкой (см. в гл. 20).

Пример 23.2. Определить основные размеры плоской прямоугольной фланцевой крышки (см. рис. 23.2, тип II) к примеру 21.6 по следующим данным: материал крышки — сталь ($\sigma_{сд} = 140 Мн/м^2$); крышка без отверстий; $C = 1$ мм; $p = 0,1 Мн/м^2$ ($1 кгс/см^2$).

Из примера 21.6 имеем: $P'_0 = 0,0425 Мн$; $l_0 = 0,664$ м; $B_0 = 0,464$ м; $L_n = 0,62$ м; $B_n = 0,422$ м; $d_0 = 112$ мм; $z' = 11,5$; $z = 38$.

Высоту крышки в месте уплотнения согласно примеру 21.6 принимаем $h_n = 14$ мм.

Определим высоту крышки посередине.

Находим коэффициент K_2 в формуле (23.13) по графику рис. 23.8: для $\frac{L_n}{B_n} = \frac{0,62}{0,42} = 1,475$ [$K_2 = 0,46$].

Плечо изгибающего момента

$$l = 0,5(B_0 - B_n) = 0,5(0,464 - 0,42) = 0,022 \text{ м.}$$

Номинальную расчетную высоту крышки посередине определяем по формуле (23.13)

$$h' = \sqrt{\frac{3 P'_0 l z}{(L_n + B_n) \sigma_{сд} z'} + K_2 \frac{B_n^2 p}{\sigma_{сд}}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 0,0425 \cdot 0,022 \cdot 38}{(0,62 + 0,42) 140 \cdot 11,5} + 0,46 \frac{0,422^2 \cdot 0,1}{140}} = 0,011 \text{ м.}$$

С учетом прибавки и на конструктивных соображений высоту крышки посередине принимаем $h = 18$ мм.

Расчетные наружные размеры крышки принимаем равными соответствующим размерам фланца согласно примеру 21.6: $l_\phi = 894$ мм и $B_\phi = 494$ мм.

Сферические фланцевые крышки

Сферические фланцевые крышки рекомендуется применять:

в литых аппаратах для любого D_n независимо от давления среды;

в кованых аппаратах при $D_n \geq 600$ мм.

В сварной аппаратуре такие крышки в настоящее время имеют ограниченное применение. Большей частью они заменяются эллиптическими.

Основные типовые конструкции сферических фланцевых крышек показаны на рис. 23.9. Сварные крышки типов I и II состоят из сферического неотбортованного днища и фланца. Сферические неотбортованные днища для стальных аппаратов в этом случае следует выбирать по табл. 16.16.

Номинальную расчетную высоту крышки в месте уплотнения h'_n в м (см) для других типов рекомендуется определять:

для типов *II—IV* — по формуле (21.50);
для типов *V—VII*, рассматривая крышку как прямоугольную пластину, свободно опертую по периметру $2(L_n + B_n)$, равномерно нагруженную давлением p , по формуле *

$$h'_n = \frac{K_1 B_n p}{\tau_{сд}}, \quad (23.11)$$

где K_1 — коэффициент определяется по графику рис. 23.8;

$\tau_{сд}$ — допускаемое напряжение на срез для материала крышки в Мн/м^2 (кгс/см^2).

Номинальную расчетную высоту крышки посередине h' в м (см) рекомендуется определять:

для типов *V—VII* — исходя из рассмотрения крышки как прямоугольной пластины, свободно опертую по периметру $2(L_n + B_n)$, равномерно нагруженной давлением p по формуле

$$h' = B_n \sqrt{\frac{K_2 p}{\sigma_{из}}}, \quad (23.12)$$

где K_2 — коэффициент определяется по графику рис. 23.8;

для типов *II—IV* — приближенно, исходя из следующих рассуждений: по сравнению с типами *V* и *VII* на крышку действует дополнительный изгибающий момент от затяга ее болтами.

Рис. 23.8. Значения коэффициентов K_1 и K_2 в формулах (23.11), (23.12) и (23.13)

Усредненно указанный изгибающий момент $M_{из}$ в $\text{Мн}\cdot\text{м}$ ($\text{кгс}\cdot\text{см}$), приходящийся на единицу длины средней линии уплотнения, будет

$$M_{из} = \frac{P'_0 l z}{2(L_n + B_n) z'}, \quad (1)$$

напряжение изгиба $\sigma_{из}$ в Мн/м^2 (кгс/см^2) от этого момента в любом сечении крышки можно считать одинаковым и выразить величиной

$$\sigma_{из} = \frac{6M_{из}}{h^2} = \frac{3P'_0 l z}{(L_n + B_n) h^2 z'}, \quad (2)$$

где $l = 0,5(L_0 - L_n) = 0,5(B_0 - B_n)$ м (см).

Значения остальных величин см. в формуле (21.50). Преобразуем формулу (23.12), заменив в ней $\sigma_{из}$ на σ_u

$$\sigma_u = K_2 \frac{B_n^2}{h^2} p, \quad (3)$$

Суммарное напряжение посередине крышки от совместного действия давления и затяга болтов

$$\sigma_u = \frac{3P'_0 l z}{(L_n + B_n) h^2 z'} + K_2 \frac{B_n^2}{h^2} p. \quad (4)$$

* Получена из формулы $Q = KB_n p$ (максимальная перерезывающая сила, приходящаяся на единицу длины сечения пластины) [108].

Заменив в (4) σ_u на $\sigma_{из}$ и решая его относительно h получим формулу для определения номинальной расчетной высоты крышки посередине h' в м (см) для типов *II—IV*

$$h' = \sqrt{\frac{3P'_0 l z}{(L_n + B_n) \sigma_{из} z'} + K_2 \frac{B_n^2 p}{\sigma_{из}}}. \quad (23.13)$$

При наличии в крышке отверстий в формулы (23.12) и (23.13) следует ввести коэффициент ослабления крышки отверстиями φ_0 в первой — в знаменатель подкоренного выражения, а во второй — в знаменатель второго члена подкоренного выражения.

Значение указанного коэффициента φ_0 рекомендуется определять по формуле (23.5), заменив в ней D_n на B_n . Высоты крышек h_n и h с учетом прибавок определяются по формуле (15.10).

Расчетные наружные размеры крышек $L_{ф}$ и $B_{ф}$ (см. рис. 23.2) определяются: для типов *I—IV* — как для соответствующих фланцев (см. в гл. 21); для типов *V—VII* — в соответствии с обратной (см. в гл. 20).

Пример 23.2. Определить основные размеры плоской прямоугольной фланцевой крышки (см. рис. 23.2, тип *I*) к примеру 21.6 по следующим данным: материал крышки — сталь ($\sigma_{из} = 140 \text{ Мн/м}^2$); крышка без отверстий; $C = 1 \text{ мм}$; $p = 0,1 \text{ Мн/м}^2$ (1 кгс/см^2).

На примере 21.6 имеем: $P'_0 = 0,0425 \text{ Мн}$; $l_0 = 0,064 \text{ м}$; $B_0 = 0,464 \text{ м}$; $L_n = 0,62 \text{ м}$; $B_n = 0,42 \text{ м}$; $d_0 = 112 \text{ мм}$; $z' = 11,5$; $z = 38$.

Высоту крышки в месте уплотнения согласно примеру 21.6 принимаем $h_n = 14 \text{ мм}$.

Определим высоту крышки посередине.

Находим коэффициент K_2 в формуле (23.13) по графику рис. 23.8: для $\frac{L_n}{B_n} = \frac{0,62}{0,42} = 1,475$ [$K_2 = 0,46$].

Плечо изгибающего момента

$$l = 0,5(B_0 - B_n) = 0,5(0,464 - 0,42) = 0,022 \text{ м}.$$

Номинальную расчетную высоту крышки посередине определяем по формуле (23.13)

$$h' = \sqrt{\frac{3P'_0 l z}{(L_n + B_n) \sigma_{из} z'} + K_2 \frac{B_n^2 p}{\sigma_{из}}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 0,0425 \cdot 0,022 \cdot 38}{(0,62 + 0,42) 140 \cdot 11,5} + 0,46 \frac{0,42^2 \cdot 0,1}{140}} = 0,011 \text{ м}.$$

С учетом прибавки и из конструктивных соображений высоту крышки посередине принимаем $h = 18 \text{ мм}$.

Расчетные наружные размеры крышки принимаем равными соответствующим размерам фланца согласно примеру 21.6: $L_{ф} = 694 \text{ мм}$ и $B_{ф} = 494 \text{ мм}$.

Сферические фланцевые крышки

Сферические фланцевые крышки рекомендуется применять в литых аппаратах для любого D_n независимо от давления среды;

в кованых аппаратах при $D_n \geq 600 \text{ мм}$.

В сварной аппаратуре такие крышки в настоящее время имеют ограниченное применение. Большой частью они заменены эллиптическими.

Основные типовые конструкции сферических фланцевых крышек показаны на рис. 23.9. Сварные крышки типов *I* и *II* состоят из сферического неотбортованного днища и фланца. Сферические неотбортованные днища для стальных аппаратов в этом случае следует выбирать по табл. 10.16.

Расчет сферических фланцевых крышек, работающих под давлением (см. рис. 23.9)

Расчет таких крышек состоит в определении толщины сферической стенки и размеров фланца. Номинальная расчетная толщина сферической стенки определяется по формулам табл. 15.10. Определение размеров фланца см. в гл. 21.

Эллиптические фланцевые крышки

Эллиптические фланцевые крышки широко применяются в сварной и паяной аппаратуре, работающей под избыточным давлением. Диаметр таких крышек опреде-

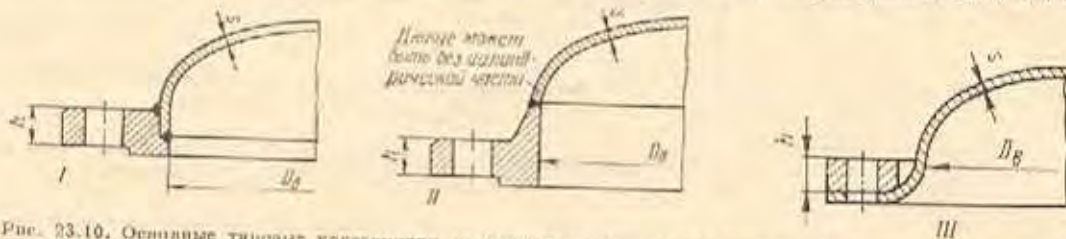


Рис. 23.10. Основные типовые конструкции эллиптических фланцевых крышек: I — сварные стальные при $\rho_H \leq 2,5 \text{ Мн/м}^2$ и из цветных металлов при $\rho_H \leq 0,6 \text{ Мн/м}^2$; II — сварные стальные при $\rho_H > 2,5 \text{ Мн/м}^2$ и из цветных металлов при $\rho_H > 0,6 \text{ Мн/м}^2$; III — из меди с накладными фланцами при $\rho_H \leq 0,3 \text{ Мн/м}^2$

ляется соответствующими стандартами и нормативами на штампованные отбортованные эллиптические днища (см. в гл. 16), из которых образуется крышка с привариваемым или припаяваемым к ней фланцем.

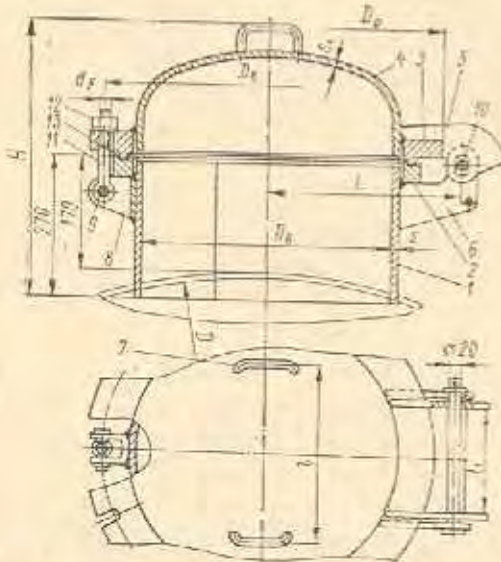


Рис. 23.11. Конструкция люков с эллиптической фланцевой крышкой, шарнирным устройством и откидными болтами для стальных аппаратов с $\rho_H \leq 1,0 \text{ Мн/м}^2$ (типы V и VK по ОН 26-01-10-65)

Основные типовые конструкции эллиптических крышек показаны на рис. 23.10.

В табл. 23.6 приведены основные данные о стандартизованных медных отбортованных эллиптических днищах (крышках), применяемых со свободными фланцами в медной сварной и паяной аппаратуре.

На рис. 23.11—23.14 показаны конструкции нормализованных люков с эллиптическими фланцевыми крышками для сварной стальной аппаратуры, а в табл. 23.7—23.9 — основные данные об этих люках.

Расчет эллиптических фланцевых крышек, работающих под давлением (см. рис. 23.10)

Расчет таких крышек состоит в определении толщины эллиптической стенки днища и размеров фланца. Номинальная расчетная толщина эллиптической стенки определяется по формулам табл. 16.12. Определение размеров фланца см. в гл. 21.

Цилиндрические фланцевые крышки

Цилиндрические фланцевые крышки, имеющие прямоугольную форму, применяются в основном как коллекторы и т. п. для аппаратов, работающих под давлением, вакуумом и наливом.

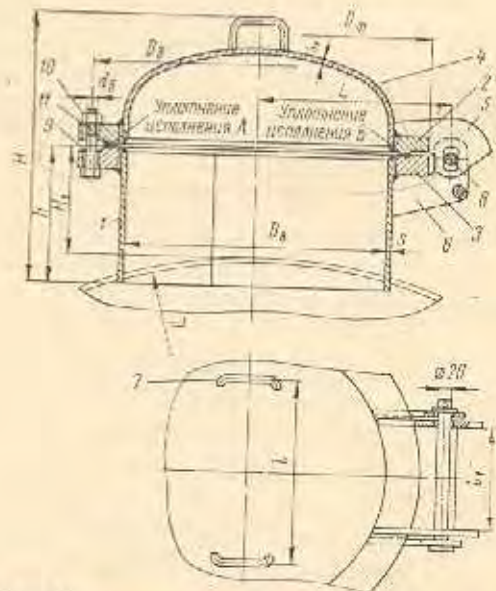


Рис. 23.12. Конструкция люков с эллиптической фланцевой крышкой и шарнирным устройством для стальных аппаратов с $\rho_H \leq 2,5 \text{ Мн/м}^2$ (типы II, IIK, VI и VII по ОН 26-01-10-65).

Изготовление таких крышек производится с помощью сварки и отливкой.

На рис. 23.15 показаны основные типовые конструкции цилиндрических фланцевых крышек.

Продолжение табл. 28.6

$D_в$	$h_в$	$D_ф$	$D_д$	$F, м^2$	$V \cdot 10^3, м^3$	Толщина стенки s , мм														
						2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6							
						Масса, кг														
1000	250	1115	1320	1,16	151	—	30,4	36,5	42,6	48,7	—	—	—							
		1135	1340											37,6	43,9	50,2	56,5	62,7	75,3	
		1185	1390											40,5	47,3	54,1				
1100	275	1235	1460	1,40	198	—	37,2	44,7	52,1	59,6	—	—	—							
		1285	1510											47,8	55,8	63,7				
		1335	1580											52,3	61,1	69,8				
1200	300	1340	1585	1,66	225	—	43,6	52,7	61,4	70,2	—	—	—							
		1385	1630											55,7	65,0	74,3				
		1435	1695											60,2	70,2	80,3	90,3			
1300	325	1435	1695	1,94	321	—	—	—	—	—	—	—	—							
1400	350	1535	1815	2,24	398									60,1	80,6	92,1	104			
1500	375	1635	1930	2,56	486									78,1	91,1	104	117			
1600	400	1735	2045	2,90	587	—	—	—	—	—	—	—	—	—						
1800	450	1935	2285	3,66	827										87,7	102	117	132	146	
2000	500	2135	2665	4,50	1124										110	128	146	164	183	
							149	174	199	223	248									

Примечания:
 1. F — внутренняя поверхность днища, V — емкость днища, $D_д$ — диаметр развертки днища.
 2. Днища предназначены для аппаратов, работающих при t , от минус 196 до плюс 250° С и $p \leq 0,3$ МПа/м² в аппаратах $D_в \leq 1000$ мм и при $p \leq 0,1$ МПа/м² — в аппаратах $D_в > 1000$ мм.
 3. Материал днищ — медь жарок МЗ и МЗС.

Люки с эллиптической фланцевой крышкой, шарнирным устройством и откидными болтами для стальных аппаратов на $p_H \leq 1,0$ МПа/м² (типы V и VK по ОН 26-01-10-65)

Условное обозначение люка типа V с $D_в = 400$ мм, $p_H = 0,3$ МПа/м²:
 «Люк V-0,3-400 ОН 26-01-10-65»

$p_H, МПа/м^2$	$D_в$	$D_ф$	$D_д$	D	α	s_1	L	l	l_1	H	Болты		Типы	
											$d_б$	z	V	VK
0,3	400	535	495	900	6	4	320	250	210	470	M20	12	57	58
	500	640	600	1000			370	300	180	500				
1,0	400	550	500	900	8	6	320	250	210	470	M24	12	59	71
	500	650	600	1000			370	300	180	500					16	100	102

Примечания:
 1. Конструкция люков см. на рис. 23.11.
 2. Люки предназначены для вертикальной и горизонтальной установки. Тип V — для аппаратов из углеродистой стали, тип VK — для аппаратов из коррозионностойкой стали.
 3. Пределы применения люков в зависимости от температуры среды см. в табл. 23.4.
 4. Материал для типа V: детали 1 (обечайка), 2 (кольцо), 3 (фланец), 4 (днище), 5 (ребро), 6 (косынка), 7 (ручки), 8 (кронштейн) — сталь марки Ст.3; 9 и 10 (оси) — сталь марки 45; 11 (болты откидные) — сталь марки 35; 12 (шайбы) — сталь марки 35; 13 (прокладка) — в зависимости от среды.
 Материал для типа VK: детали 1, 2 и 4 — сталь марки X18H10T; 3 — сталь марки Ст.3 с наплавкой из стали марки X18H10T; остальные детали — такой же материал, как и для типа V.

Таблица 23.10

Люки с плоской круглой крышкой и бигельным прижимным устройством для стальных аппаратов, работающих под наливом и вакуумом (с остаточным давлением ≥ 1300 н/м²) (типы I и IK по ОН 26-01-10-65 и тип I по ОН 26-01-35-67)

Условное обозначение люка с $D_y = 400$ мм для аппаратов из углеродистой стали (тип I):
«Люк 1-0-400 ОН 26-01-10-65»

Условное обозначение люка с $D_y = 250$ мм для аппаратов из углеродистой стали (тип I, исполнение I):
«Люк 1.250.0.1 ОН 26-01-35-67»

D_y	d_n	a	z	D_1	e	H	H_1	L	A	A_1	d	d_1	d_0	Исполнение *	
														У	К
мм															
50	57	3,5	≥400	68	6	170	80	118	45	45	10	10	M12	1,2	1,21
80	89	4		100	8	175		145	61	61					
100	108	6	118	12	230	100	170	72	72	16	14	M16	1,9	1,92	
150	159		170	18	260		235	100	100	24			6,0	6,04	
250	273	11	≥900	285	8	330	180	360	160	160	18	18	M20	18,3	18,4
400	408		≥1000	455		555		240	250	310				33,0	33,5
500	508	4		555				660	290	310	18	18	M20	44,0	44,5

Примечания:

1. Конструкцию люков см. на рис. 23.17.
2. Люки предназначены для вертикальной установки. Люки $D_y = 400$ и 500 мм — по ОН 26-01-10-65 (тип I — для аппаратов из углеродистой стали, тип IK — для аппаратов из коррозионностойкой стали). Люки $D_y = 50-250$ мм — по ОН 26-01-35-67 (тип I — исполнение 1 — из углеродистой стали, исполнение 2 — из коррозионностойкой стали).
3. Пределы применения люков для $D_y = 400$ и 500 мм до $t_c \leq 200^\circ\text{C}$, для $D_y = 50-250$ мм — до $t_c \leq 250^\circ\text{C}$.
4. Материал люков для аппаратов из углеродистой стали: детали 1 (обечайка), 2 (кольцо), 3 (крышка), 4-6 (кромочейны) и 7 (бигель) — сталь марки Ст.3; 8 и 9 (оси) — сталь марки 45 (в люках $D_y = 400$ и 500 мм) и марки 35 (в люках $D_y = 50-250$ мм); 10 (болт откидной) — сталь марки 35 (в люках $D_y = 400$ и 500 мм) и марки Ст.5 (в люках $D_y = 50-250$ мм); 11 (рукоятка) — сталь марки 25 (в люках $D_y = 400$ и 500 мм) и марки Ст.4 (в люках $D_y = 50-250$ мм).
Материал для люков из коррозионностойкой стали: детали 1, 2 и 3 — сталь марки X18Ni10T; остальные детали — такой же материал, как и для люков из углеродистой стали.

* У — для аппаратов из углеродистой стали, К — для аппаратов из коррозионностойкой стали.

Таблица 23.11

Люки с плоской круглой крышкой и бигельным прижимным устройством для стальных аппаратов на $p_y = 0,6$ МПа/м² (тип 2 по ОН 26-01-35-67)

Условное обозначение люка $D_y = 150$ мм для аппаратов из углеродистой стали (исполнение I):
«Люк 2.150.08.1 ОН 26-01-35-67»

D_y	d_n	a	z	D	A	e	L	I	H	H_1	d_n	d_2 (гран)	d_1	d_2	Исполнение	
															1	2
мм																
50	57	3,5	8	65	57,5	20	140	145	230	80	M12	16×4	10	10	2,1	2,15
80	89	4	10	100	82,5	30	190	160	240		M16	20×4	12	12	3,4	3,45
100	108		12	130	85	40	205	200	275	100	M16	24×5	14	14	6,2	6,3
150	159	6	20	180	115	45	267	230	295		M20	30×6	18	16	12,9	13,0
250	273	11	28	295	175	55	415	360	360	120	M24	38×6	20	20	30,0	30,2
400	416		8	50	445	266	90	505	600		440	130	M30	48×8	30	30	105	106

Примечания:

1. Конструкцию люков см. на рис. 23.18.
2. Люки предназначены для вертикальной установки.
3. Пределы применения люков в зависимости от температуры среды см. в табл. 23.4.
4. Материал для исполнения 1: детали 1 (обечайка), 2 (крышка), 3 (обечайка), 4 (бигель), 5 (полушайбы), 6 (ухо) — сталь марки Ст.3; 7 (стойка), 8 (винт нижний), 9 (вилка), 10 (серьга), 11 (болт) — сталь марки Ст.5; 12 (ось) — сталь марки 35; 13 (рукоятка), 14 (гайка) — сталь марки Ст.4; 15 (прокладка) — в зависимости от среды.
Материал для исполнения 2: детали 1 и 2 — сталь марки X18Ni10T; остальные детали — такой же материал, как и в исполнении 1.

В колонной и некоторых других видах цилиндрической аппаратуры имеют широкое применение тарелки, используемые в одних случаях как химико-технологические, в других — как опорные устройства.

Из числа первых особенно широкое применение имеют массообменные тарелки, которыми оснащаются один из основных, наиболее габаритных и материалоемких видов химических аппаратов — ректификационные и абсорбционные колонны.

24.1 МАССООБМЕННЫЕ ТАРЕЛКИ

По способу работы такие тарелки в основном делятся на следующие три типа: колпачковые, проливные и струйно-направленные. Кроме того, существуют и комбинированные тарелки, сочетающие в себе свойства нескольких типов.

Выбор того или иного типа тарелок обуславливается химико-технологическими соображениями.

Диапазон диаметров тарелок (независимо от их типа и конструкции), применяемых в колонной аппаратуре, составляет 200—8000 мм — в соответствии с диаметрами колонн, для которых они предназначаются.

Количество тарелок в одной колонне бывает обычно не менее 20—30, а в отдельных случаях доходит до 80 шт. и более.

Расстояния между тарелками зависят в основном от физико-химических свойств разделяемой среды, а также некоторых других соображений и бывают от 60 до 600 мм и более.

Тарелки малых размеров выполняются цельными, тарелки больших размеров — большей частью составными (разборными из отдельных секций, соединяемых между собой струбцинами, болтами и другими приспособлениями). В отдельных случаях в стальной сварной аппаратуре крупногабаритные тарелки выполняются неразборными, свариваемыми на месте монтажа.

Тарелки характеризуются нагрузками по паре и жидкости, относительная величина которых в зависимости от разделяемой среды может в значительной степени отличаться друг от друга.

Рабочие параметры разделения в ректификационных и абсорбционных колоннах, также в зависимости от разделяемой среды, бывают различными: по давлению — от глубокого вакуума до избыточного 4 Мн/м² и выше, а по температуре от минус 250 до плюс 250° С и более.

Существует весьма много разнообразных конструкций тарелок, из которых наибольшее распространение получили колпачковые, а из числа последних — особенно тарелки с так называемыми капсульными (круглыми) колпачками.

Из других типов тарелок необходимо указать на ситчатые, решетчатые и клапанные тарелки, отличающиеся простотой, малой массой и меньшим гидравлическим сопротивлением, по сравнению с колпачковыми тарелками.

При сильно меняющихся нагрузках по паре в аппарате следует применять клапанные тарелки, диапазон устойчивой работы которых достигает трех-четырёхкратной и более величины.

Наименьшее гидравлическое сопротивление имеют ситчатые тарелки, по диапазон устойчивой работы их обычно не превышает двухкратной величины.

В табл. 24.1—24.13 приведены основные данные о наиболее употребительных нормализованных ректификационных тарелках, применяемых в химической, нефтехимической и других родственных областях промышленности, а на рис. 24.1—24.15 показаны конструкции этих тарелок.

Кроме указанных имеются и другие конструкции тарелок, нередко применяемых в данных областях промышленности, например, тарелки с S-образными элементами (см. рис. 24.16), на которые имеются нормы Гипро-нефтемаша.

В колонных установках низкотемпературного газоразделения при ректификации чистых сред часто применяются ситчатые тарелки, представляющие собой перфорированный лист с отверстиями диаметром 0,9—6 мм и более.

Такие тарелки, наряду с сегментными перекрестными патрубками, выполняются с секторными — при кольцевом движении жидкости по тарелке (рис. 24.17). Последние бывают одно-, двухзаходные и более, что достигается установкой радиально одной или нескольких вертикальных перегородок, разделяющих тарелку на соответствующее число секций. Недостатком кольцевых тарелок является наличие в средней части ее нерабочей площади в виде круга, которая используется как опора тарелок.

Расчет тарелок на прочность производится на нагрузку от силы тяжести слоя жидкости, находящейся на тарелке, и массы собственно тарелки. Кроме того, для тарелок больших диаметров при $D_T \geq 800$ мм необходимо учитывать нагрузку от силы тяжести рабочего, находящегося на тарелке при сборке и установке ее.

Номинальная расчетная толщина плоской цельной круглой тарелки s' в мм, опирающейся по окружности на какое-либо опорное устройство и не имеющей дополнительных опор в виде ребер, балок и т. п., определяется по формуле *

$$s' = 0,45 D_T \sqrt{\frac{p}{\sigma_{ад} \Phi_0}}, \quad (24.1)$$

где D_T — диаметр тарелки в м (см);
 $\sigma_{ад}$ — допустимое напряжение на изгиб для материала тарелки в Мн/м² (кгс/см²);

p — давление на тарелку от силы тяжести слоя жидкости и массы собственно тарелки с учетом возможных дополнительных нагрузок (от силы тяжести рабочего и т. д.) в Мн/м² (кгс/см²);

$\Phi_0 = \frac{t-d}{t}$ — коэффициент ослабления тарелки отверстиями;

t — расстояние между центрами отверстий в тарелке в м (см);

d — диаметр отверстий или соответствующий размер щели в направлении t в тарелке в м (см).

Для тарелок, имеющих опоры, кроме опоры по окружности, а также для тарелок, состоящих из отдельных секций, которые находятся на опорных балках, номинальная расчетная толщина их s' в м (см) определяется по формуле

$$s' = K b \sqrt{\frac{p}{\sigma_{ад} \Phi_0}}, \quad (24.2)$$

где значения величин те же, что и в формуле (15.71), а Φ_0 — что и в формуле (24.1).

Кольцевые тарелки рассчитываются на прочность так же, как кольцевые днища (см. п. 16.6).

Кроме прочности цельные ректификационные тарелки и отдельные секции их должны быть проверены расчетом на относительный прогиб, который не допускается иметь

$$\text{более чем } \frac{1}{500}.$$

* Получена из формулы (1) табл. 26 $\left(\frac{0,11 \cdot 26 \cdot 0,13 - 65}{11 \cdot 1039 - 65} \right)$ для типов VII и VIII с введением в знаменатель по коренному выражению коэффициента Φ .

Таблица 24.1

Тарелки ректификационные колпачковые однопоточные стальные цельные типов ТСК-I и ТСК-III
(по МН 5393-64, ОН 26-01-3-64, ОН 26-01-56-67 и ОН 26-01-41-67)

Условное обозначение тарелки типа ТСК-I $D_g = 500$ мм из углеродистой стали: «Тарелка 500 МН 5393-64»
То же обозначенной, из стали марки 0Х13 с колпачками исполнения I, $H = 20$ мм, $h_g = 15$ мм, $h_p = 300$ мм:

«Тарелка ТСК-I-5-0Х13 ОН 26-01-67»
1-20-15-300

Условное обозначение тарелки типа ТСК-III $D_g = 1200$ мм, $H = 20$ мм, $h_g = 10$ мм, $K = 5$ мм и $h_p = 300$ мм
из углеродистой стали «Тарелка ТСК-III-12-2 ОН 26-01-3-64»
20-10-5-300

То же, облегченной из стали марки 0Х13 (с колпачками исполнения II): «Тарелка ТСК-III-12-0Х13 ОН 26-01-41-67»
11-20-10-5-300

Тип тарелки	D_g , мм	F_g	F_a^*	F_c^*	L_g^*	L_c^*	K	d_n	t	z^*	z_1	$\frac{F_p^*}{F_g}$		Масса*, кг
												%		
ТСК-I	400	0,126	0,008	0,005	1,33	0,22 0,30	220	60	90	7	2	6,35	50	23,1
	500	0,196	0,014	0,007 0,008	2,45	0,28 0,40	300					13	3	7,15	54	28,2
	600	0,283	0,026	0,011 0,012	3,27	0,36 0,48	370	8,0	47	13,5				
	800	0,503	0,057 0,049	0,021	7,28 6,00	0,49 0,57	520	9,2	48	36,3				
	1000	0,785	0,073	0,051 0,048	9,29	0,685 0,80	595	10,0	49	17,5				
ТСК-III	1200	1,13	0,103	0,057 0,056	10,7	0,818 0,90	725	100	140	34	7	11,3	60	63,7
	1400	1,54	0,174		17,6	0,884 0,96	950					9,7	50	28,0
	1600	2,01	0,206	0,094 0,11	20,7	1,056 1,21	1010			9,8	49	86,1		
	1800	2,54	0,299		30,1	1,128 1,28	1210			9,0	50	39,0		
													9,1	51	192
										10,0	51,1	57,5		

Примечания:

1. Тарелки типа ТСК-I (из углеродистой стали) — по МН 5393-64, типа ТСК-III (из углеродистой стали) — по ОН 26-01-3-64, типа ТСК-I, облегченные из легированной стали — по ОН 26-01-56-67, типа ТСК-III, облегченные из легированной стали по ОН 26-01-41-67.

2. Конструкция тарелок и их крепления см. на рис. 24.1.

3. Материал тарелок и их деталей см. в табл. 24.3.

4. Диаметр тарелок типа ТСК-I $D_T = D_g - 20$ мм, а ТСК-III $D_T = D_g - 30$ мм.

5. Толщина тарелок типа ТСК-I $\varepsilon = 4$ мм, облегченных $\varepsilon = 1,6$ мм (для $D_g \leq 500$ мм) и $\varepsilon = 2,5$ мм (для $D_g > 500$ мм),

ТСК-III $\varepsilon = 5$ мм, облегченных $\varepsilon = 2,5$ мм.

6. Колпачки по ГОСТу 9634-68 (в двух исполнениях) с высотой прореза $H = 15$ и 20 мм — для исполнения I и $H = 20$ и 30 мм — для исполнения II.

7. Расстояния между тарелками h_p определяются химико-технологическим расчетом и могут быть: 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500 и 600 мм.

8. Длина сливной трубы устанавливается в зависимости от h_p .

9. Расстояние между нижним торцом колпачков (исполнения II) и дном тарелки K может устанавливаться: для тарелок ТСК-I в пределах $K = 0-10$ мм, для тарелок ТСК-III $K = 0-14$ мм.

10. Высота жидкости над прорезью колпачков h_g может быть: при $H \leq 20$ мм $h_g = 5 \pm 30$ мм; при $H = 30$ мм $h_g = 5 \pm 40$ мм.

11. F_n — внутренняя площадь сечения аппарата, F_d — площадь сечения паровых патрубков, F_c — площадь сечения слива, L_b — длина линии барботаж, L_c — длина линии слива, z — количество колпачков, z_1 — количество рядов колпачков в направлении движения жидкости, $\frac{A}{F_n}$ — активная площадь тарелки.

12. Масса (ориентировочная) упаковки: для тарелок ТСК-I при $h_p = 300$ мм и $H = 30$ мм, для тарелок ТСК-III при $h_p = 400$ мм и $H = 30$ мм.

13. Тарелки ТСК-I устанавливаются в аппаратах, состоящих из царг по 2-7 шт. в царге. При этом нижняя тарелка в каждой царге монтируется на опорном кольце, привариваемом к корпусу аппарата. Остальные тарелки лежат свободно, опираясь на соответствующие планки, ниже лежащей тарелки.

Тарелки ТСК-III устанавливаются в аппарате из специальных опорных раздвижных колец из угольника, удерживаемые треном. Тарелки ТСК-III облегченные, устанавливаются на кронштейн, прикрепляемые болтами к шлям, приваренным с внутренней стороны к корпусу аппарата.

* Верхние значения — для тарелок из углеродистой стали, нижние значения — для тарелок облегченных из легированной стали; одно значение — для тех и других тарелок.

Тарелки ректификационные колпачковые однопоточные стальные разборные типа ТСК-Р
(по МН 5394-64 и ОН 28-01-42-67)

Таблица 24.2

Условное обозначение тарелки $D_n = 1000$ мм исполнения I из углеродистой стали: «Тарелка I—1000 МН 5394-64»
То же из легированной стали марки 0X13 (с колпачками исполнения II, $H = 20$ мм, $h_p = 10$ мм, $K = 5$ мм и $h_p = 400$ мм): «Тарелка ТСК-Р-10-0X13 ОН 28-01-41-67».

D_n , мм	F_n	F_n^*	F_c^*	L_b^*	L_c^*	D	d_k	t	z^*	z_1	$\frac{A^{**}}{F_n}$		Масса, кг
											%		
1000	0,78	0,088 0,087	0,07 0,06	10,8	0,68	722	80	110	43	6	11,3 11,1	57,9	90 49,3
1200	1,13	0,108 0,125	0,10	12,3	0,83 0,84	856	80	110	39		6	9,6 9,0	58,6	119 77,0
1400	1,54	0,136 0,157	0,21 0,19	14,4 15,4	1,09 1,10				49	8,8 10,2		54,0	152 95,5
1600	2,01	0,183 0,218	0,27 0,34	20,7	1,26 1,27	976	100	140	66	7	9,1 10,5	55,7	191 133
1800	2,54	0,239 0,284	0,34 0,38	27,0	1,42 1,43	1095			86	8	9,4 10,8	57,6	230 137
2000	3,14	0,317 0,366	0,38 0,32	35,2 35,8	1,47 1,48	1342	114	10	10,1 11,6	64,2	306 162		
2200	3,81	0,394 0,456	0,41	44,2 44,6	1,63	1462	141 142	11	10,3 12,0	65,7	368 222		
2400	4,52	0,466 0,520	0,49 0,52	53,0 52,8	1,79 1,80	1582	168	12	10,3 12,0	65,3	419 272		
2600	5,31	0,582 0,650	0,59 0,62	63,1 63,4	1,95 1,96	1704	202	13	10,6 12,2	66,6	526 295		
2800	6,16	0,663 0,765	0,71 0,72	74,6 72,8	2,11 2,13	1826	238 232	14	10,7 12,1	67,5	575 363		

Таблица 26.2

Линзы для стальных компенсаторов на $p_p = 0,6 \div 1,6 \text{ Мн/м}^2$
(по ОН 26-01-79-68)

Условное обозначение линзы $D_y = 800 \text{ мм}$, $p_p = 1,6 \text{ Мн/м}^2$ из углеродистой стали (условное обозначение З) для приварки встык: «Линза 800-1,6У, ОН 26-01-79-68», то же для высоколегированной стали (условное обозначение К) для приварки внахлестку (условное обозначение Б): «Линза 800-1,6КБ ОН 26-01-79-68»



p_p , Мн/м ²	D_y	d_n	D	t	e	Δ_A	Силы		Масса линзы, кг
							F_K	F_p	
							Мн		
0,6	150	159	309	71	2,5	10	0,0157	0,013	2,72
1,0				72	3	8	0,0206	0,025	3,28
1,6				74	4	6	0,036	0,0368	4,38
0,6	200	219	369	71	2,5	10	0,018	0,0171	3,46
1,0				72	3	8	0,0243	0,0284	4,15
1,6				74	4	6	0,0417	0,0452	5,55
0,6	250	273	493	71	2,5	10	0,0197	0,0204	4,09
1,0				72	3	8	0,0275	0,0338	4,93
1,6				74	4	6	0,0471	0,054	6,59
0,6	300	325	475	71	2,5	10	0,0223	0,0235	4,72
1,0				72	3	8	0,0309	0,0397	5,88
1,6				74	4	6	0,053	0,0638	7,58
0,6	400	426	576	71	2,5	10	0,0274	0,031	5,91
1,0				72	3	8	0,0375	0,0515	7,15
1,6				74	4	6	0,0648	0,082	9,57
0,6	400	405	555	71	2,5	10	0,0274	0,031	5,49
1,0			558	72	3	8	0,0375	0,0515	6,86
1,6			558	74	4	6	0,0648	0,082	9,21
0,6	500	505	655	71	2,5	10	0,0314	0,0373	6,88
1,0			656	72	3	8	0,0437	0,0633	8,3
1,6			658	74	4	6	0,0756	0,101	11,2
0,6	600	605	755	71	2,5	10	0,0363	0,0448	8,07
1,0			756	72	3	8	0,0498	0,0747	9,75
1,6			758	74	4	6	0,0878	0,119	13,1

Относительное перемещение центров тяжести участков определяется по формуле

$$K_i = \frac{H}{3E^2 J} A_i + \varphi_0 \alpha_i \quad (29.31)$$

где A_i — параметр, определяемый по графику на рис. 29.21;

$\alpha_i = \frac{x_i}{H}$ — относительные координаты центров тяжести участков.

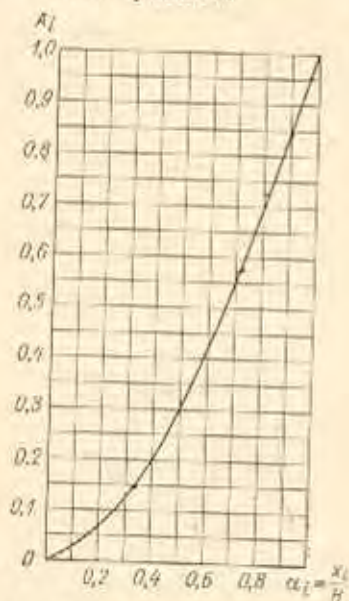


Рис. 29.21. График для определения параметра A_i .

Угол поворота опорного сечения определяется по формуле

$$\varphi_0 = \frac{1}{C_\phi J_\phi} \quad (29.32)$$

где C_ϕ — коэффициент неравномерного сжатия грунта, определяется по данным инженерной геологии, при отсутствии таких данных для грунтов средней плотности принимается $C_\phi \approx 50 \text{ Мн/м}^2$ (5000 тс/м^2);

J_ϕ — момент инерции подошвы фундамента относительно центральной оси в м^4 . Если точные размеры фундамента неизвестны, то J_ϕ приближенно принимается равным $J_\phi = 1,3 J_k$, где J_k — момент инерции сечения фундаментного кольца аппарата.

При установке на одном фундаменте группы аппаратов, жестко связанных между собой в горизонтальном направлении, общий период собственных колебаний таких аппаратов T (в сек) определяется по формуле

$$T = 3,14 \sqrt{\frac{\sum G_i H_i^2}{g C_\phi J_\phi}} \quad (29.33)$$

где G_i — сила тяжести каждого аппарата в Мн (тс);
 H_i — высота каждого аппарата в м ;
 J_ϕ — момент инерции подошвы общего фундамента относительно центральной оси в м^4 . Если точные размеры общего фундамента неизвестны,

то J_ϕ приближенно принимается равным $J_\phi =$

$$= 1,7 \sum_{i=1}^n J_{ki}, \text{ где } J_{ki} \text{ — момент инерции сечения фундаментного кольца } i\text{-го аппарата.}$$

Сила P_i в Мн (тс), действующая на i -й участок цилиндрического аппарата от ветрового напора, определяется по формуле

$$P_i = 0,6^* \beta_i q_i D_i h_i \quad (29.34)$$

где β_i — коэффициент увеличения скоростного напора, определяется по формуле (29.26);

q_i — нормативный скоростной напор ветра в Мн/м^2 (тс/м^2), определяется по табл. 29.14 с учетом поправочного коэффициента θ (см. рис. 29.15);

D_i — наружный диаметр i -го участка аппарата в м , при наличии снаружи аппарата изоляции принимается наружный диаметр изоляции;

h_i — высота i -го участка аппарата в м .

Изгибающий момент от ветровой нагрузки относительно основания аппарата $M_{s,0}$ в $\text{Мн}\cdot\text{м}$ ($\text{тс}\cdot\text{м}$) определяется по формуле

$$M_{s,0} = \sum_{i=1}^{n_0} P_i x_i \quad (29.35)$$

где x_i — расстояние i -го участка от основания аппарата в м ;

n_0 — количество участков, расположенных ниже сечения x_0 .

Для аппаратов, оборудованных площадками обслуживания, общий изгибающий момент от ветровой нагрузки $M_{s,0}$ определяется по формуле

$$M_{s,0} = M_s + \sum_{i=1}^n M_{s,ni} \quad (29.36)$$

где M_s — изгибающий момент без учета обслуживающих площадок в $\text{Мн}\cdot\text{м}$ ($\text{тс}\cdot\text{м}$), определяется по формуле (29.35);

$\sum_{i=1}^n M_{s,ni}$ — суммарный изгибающий момент, учитывающий только наличие площадок в $\text{Мн}\cdot\text{м}$ ($\text{тс}\cdot\text{м}$).

Изгибающий момент от действия ветровой нагрузки на одну площадку, расположенную на высоте x_i от основания аппарата, $M_{s,ni}$ определяется по формуле

$$M_{s,ni} = 1,4 \beta_i q_i x_{ni} \sum_{i=1}^n F_{ni} \quad (29.37)$$

где $\sum_{i=1}^n F_{ni}$ — сумма проекций всех элементов площадки,

расположенных вне зоны аэродинамической тени, на вертикальную плоскость в м^2 ;

x_{ni} — расстояние от низа i -ой площадки до основания аппарата в м ;

β_i и q_i — см. выше.

После определения изгибающих моментов от ветровой нагрузки производится проверка корпуса аппарата на прочность и устойчивость по соответствующим формулам, приведенным в гл. 15.

Расчет опор типов I—III (см. рис. 29.1) для колонных аппаратов, подверженных ветровой нагрузке, рекомендуется производить в следующей последовательности.

* Для аппаратов корабчатой формы вместо коэффициента 0,6 приближенно коэффициент 1,4.

Материал аппарата — низколегированная сталь ($E = 2 \cdot 10^6 \text{ Мн/м}^2$, $\sigma_{\text{доп}} = 160 \text{ Мн/м}^2$).

Сила тяжести: аппарата — $G = 0,26 \text{ Мн}$ (26 тс); обслуживающих площадок — $G_n = 0,02 \text{ Мн}$ (2 тс); изоляции — $G_a = 0,06 \text{ Мн}$ (6 тс); жидкости — $G_{\text{ж}} = 0,04 \text{ Мн}$ (4 тс); воды в аппарате при гидрочистании — $G_w = 0,43 \text{ Мн}$ (43 тс).

Внутренние диаметры аппарата: верхней части — $D_0 = 1,0 \text{ м}$; нижней части — $D_{01} = 1,6 \text{ м}$.

Толщина стенок корпуса: верхней части — $s = 16 \text{ мм}$, нижней части — $s_1 = 22 \text{ мм}$.

Прибавка на коррозию к толщине стенок $C_k = 1 \text{ мм}$.

Наружные диаметры изолированного аппарата: верхней части — $D_u = 1,5 \text{ м}$; нижней части — $D_{u1} = 2,0 \text{ м}$.

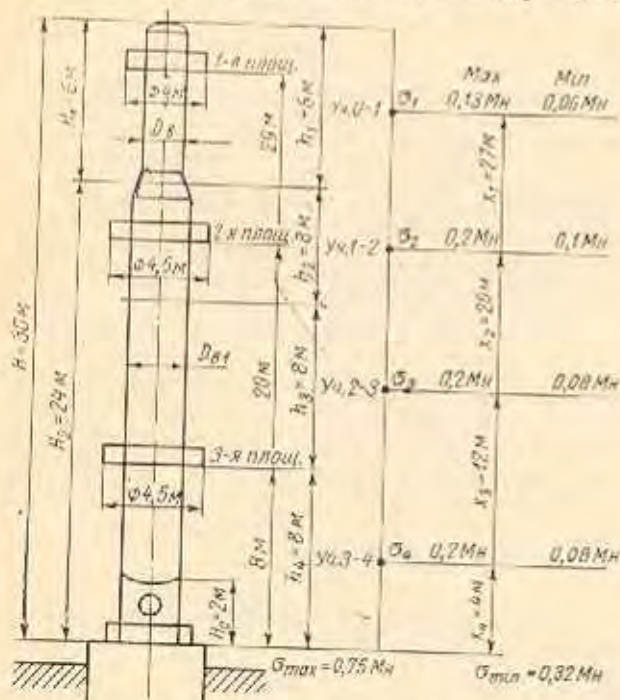


Рис. 29.22. К примеру 29.4

Ветровая площадь (с учетом заполнения): верхней площадки — $F_n = 3 \text{ м}^2$, каждой из нижних площадок — $F_{n1} = 3,5 \text{ м}^2$.

Внутренний диаметр цилиндрической опоры $D = 1,6 \text{ м}$. В опоре имеется лаз $d = 0,5 \text{ м}$.

Материал фундаментных болтов — сталь с $\sigma_{\text{д}} = 230 \text{ Мн/м}^2$.

Расчетный диаметр аппарата определяем по формуле (29.25)

$$D = \frac{2}{H^2} \left[D_u H_1 \left(\frac{H_1}{2} \right) + D_{u1} H_2 \left(H_1 + \frac{H_2}{2} \right) \right] =$$

$$= \frac{2}{30^2} \left[1,5 \cdot 6,0 \cdot \frac{6,0}{2} + 2,0 \cdot 24,0 \left(6,0 + \frac{24,0}{2} \right) \right] =$$

$$= 1,98 \text{ м.}$$

Отношение высоты аппарата к его расчетному диаметру $\frac{H}{D} = \frac{30}{1,98} = 15,1 > 15$, и поэтому расчетная схема аппарата выбирается в виде консольного стержня с жесткой заделкой в фундаменте.

Определим период собственных колебаний аппарата. Расчет производим раздельно для максимальной и минимальной сил тяжести аппарата.

Средние диаметры корпуса аппарата: верхней части

$$D_{\text{ср}} = D_0 + (s - C_k) = 1,0 +$$

$$+ (0,016 - 0,001) = 1,015 \text{ м;}$$

нижней части

$$D_{\text{ср1}} = D_{01} + (s_1 - C_k) = 1,6 +$$

$$+ (0,022 - 0,001) = 1,621 \text{ м.}$$

Моменты инерции поперечных сечений корпуса: верхней части

$$J = \frac{\pi}{8} D_{\text{ср}}^3 (s - C_k) = \frac{\pi}{8} 1,015^3 \cdot 0,015 = 0,00615 \text{ м}^4;$$

нижней части

$$J_1 = \frac{\pi}{8} D_{\text{ср1}}^3 (s_1 - C_k) = \frac{\pi}{8} 1,621^3 \cdot 0,021 = 0,0352 \text{ м}^4.$$

Коэффициент j для аппарата определяем по графику на рис. 29.18: для $\frac{J}{J_1} = \frac{0,00615}{0,0352} = 0,175$ и $\frac{H_1}{H} = \frac{6}{30} = 0,2$ будет $j = 0,12$.

Период собственных колебаний аппарата определяем по формуле (29.29)

$$T = 4,45 \sqrt{\frac{j(G_1 x_1^4 + G_2 x_2^4 + G_3 x_3^4 + G_4 x_4^4)}{j g H E^2}};$$

для максимальной силы тяжести аппарата

$$T = 4,45 \sqrt{\frac{0,12(0,13 \cdot 27^4 + 0,22 \cdot 20^4 + 0,2 \cdot 12^4 + 0,2 \cdot 4^4)}{0,00615 \cdot 9,81 \cdot 30 \cdot 2 \cdot 10^6}} =$$

$$= 0,825 \text{ сек;}$$

для минимальной силы тяжести аппарата

$$T = 4,45 \sqrt{\frac{0,12(0,06 \cdot 27^4 + 0,1 \cdot 20^4 + 0,08 \cdot 12^4 + 0,08 \cdot 4^4)}{0,00615 \cdot 9,81 \cdot 30 \cdot 2 \cdot 10^6}} =$$

$$= 0,57 \text{ сек.}$$

Нормативный скоростной напор для II географического пояса СССР согласно табл. 29.14 равен $q = 0,035 \times 10^{-2} \text{ Мн/м}^2$ (0,035 тс/м²).

Поправочный коэффициент к нормативному скоростному напору для участков аппарата высотой $H > 10 \text{ м}$ определяем по графику на рис. 29.15: $\theta = 1,55$.

Расчетный скоростной напор по участкам:

$$q_1 = q_2 = q_3 = \theta q = 1,55 \cdot 0,035 \cdot 10^{-2} =$$

$$= 0,0542 \cdot 10^{-2} \text{ Мн/м}^2 \text{ (0,0542 тс/м}^2\text{);}$$

$$q_4 = q = 0,035 \cdot 10^{-2} \text{ Мн/м}^2 \text{ (0,035 тс/м}^2\text{).}$$

Коэффициент динамичности определяем по графику на рис. 29.16: для $T = 0,825 \text{ сек}$ — $\varepsilon = 1,75$; для $T = 0,57 \text{ сек}$ — $\varepsilon = 1,5$.

Коэффициент пульсации скоростного напора определяем по графику на рис. 29.17: для участка 1 — $m_1 = 0,34$; для участков 2—4 — $m_2 = m_3 = m_4 = 0,35$.

ГЛАВА 31

ПЕРЕМЕШИВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Перемешивание жидких сред с целью интенсификации многих физико-химических процессов и при приготовлении различных смесей (растворов, суспензий, эмульсий и т. п.) имеет весьма широкое применение в химической и ряде других смежных с ней отраслей промышленности.

Перемешивание в жидкой среде осуществляется различными способами, основными из которых являются механический, пневматический (сжатым газом, чаще всего воздухом) и вибрационный. Наибольшее распространение имеют первые два способа, в которых перемешивание осуществляется с помощью специальных перемешивающих устройств, устанавливаемых в разного рода химических аппаратах (реакторах, смесителях, отстойниках и т. д.).

Перемешивающие устройства характеризуются интенсивностью и эффективностью действия. Первым определяется временем, требуемым для достижения заданного технологического результата, а вторым — затратами энергии для этого. Чем меньше время и расход энергии при этом, тем выше интенсивность и эффективность перемешивающего устройства.

31.1 МЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕМЕШИВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Существует весьма много конструкций механических перемешивающих устройств, общий принцип действия которых заключается в том, что при вращении этих

устройств в перемешиваемой среде последняя приводится в движение, чем и осуществляется перемешивание. Характер движения перемешиваемой среды зависит от ряда факторов, основным из которых является конструкция перемешивающего устройства.

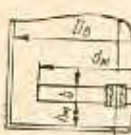
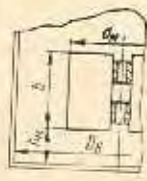
В табл. 31.1 представлены данные об основных типах наиболее употребительных стальных нормализованных механических перемешивающих устройств, их геометрических соотношениях и области применения, а в табл. 31.2—31.4 — основные параметры этих устройств, предназначенных для вертикальных цилиндрических аппаратов емкостью от 1 до 50 м³.

Для сред с плотностью $\rho_c \leq 1,4 \cdot 10^3$ кг/м³, динамическим коэффициентом вязкости $\mu_c \leq 1,2$ н·сек/м², температурой $t_c = 0-120^\circ$ С при малоинтенсивном перемешивании их в вертикальных стальных футерованных аппаратах емкостью 0,016—4 м³, а также в аналогичных аппаратах из пивилласта и фаялита имеются нормализованные перемешивающие устройства: лопастные, якорные, рамные (ОН 12-01-12-66). Геометрические соотношения, конструкции и расчет этих устройств в основном аналогичны предыдущим.

Интенсивность механических перемешивающих устройств определяется их конструкцией и при прочих равных условиях увеличивается при возрастании скорости вращения перемешивающего устройства и его диаметра. Вместе с тем увеличение последнего приводит к значительному возрастанию мощности, расходуемой на перемешивание.

Таблица 31.1

Основные типы механических перемешивающих устройств и области их применения
(по МН 5874—66)

Тип	Эскиз	Относительные размеры	Наименование	n_c об/сек/м ²	ω , град/сек	Область применения
1		$d_M = D_0 / (1,4 \div 1,7)$ $b = 0,1 d_M$ $h_M = (0,1 \div 0,3) d_M$	Лопастные	1—500 500—3000	1,5—5,0 1,5—3,2	Перемешивание взаиморастворимых жидкостей; грубое эмульгирование; взвешивание твердых частиц в жидкости с массовым содержанием их до 90%; взвешивание волокнистых веществ; взмучивание легкого осадка; медленное растворение кристаллических или аморфных, а также волокнистых веществ; выравнивание температуры; перемешивание в процессах кристаллизации
2		$d_M = D_0 / 2$ $b = 0,75 d_M$ $h_M = (0,1 \div 0,3) d_M$	Листовые	1—50	0,5—5,0	Растворение жидкостей малой вязкости; взвешивание твердого вещества; растворение кристаллических веществ; интенсификация теплообмена

По интенсивности (в возрастающем порядке) нормализованные перемешивающие устройства можно расположить следующим образом: рамные и якорные, лопастные, пропеллерные, листовые, пропеллерные с диффузором и турбинные открытые, турбинные закрытые. По относительной эффективности эти перемешивающие устройства также в возрастающем порядке: турбинные закрытые и пропеллерные, турбинные открытые, пропеллерные с диффузором, рамные и якорные, лопастные и листовые.

Выбор типа перемешивающего устройства, основных его размеров и скорости вращения в зависимости от технологического процесса, диаметра корпуса аппарата D_k , динамического коэффициента вязкости μ_c и плотности ρ_c перемешиваемой среды производится по табл. 31.1—31.4.

Расчет мощности ¹

Расчетная мощность N_M (в ат), потребляемая перемешивающим устройством (мешалкой) собственно на перемешивание, при $N_{ж} \ll D_k$ определяется по формуле

$$N_M = K_M \rho_c n^3 d_m^5 \quad (31.1)$$

где d_m — диаметр мешалки в м;
 ρ_c — плотность перемешиваемой среды в $кг/м^3$;
 n — частота вращения мешалки в $об/сек$;
 K_M — критерий мощности.

Плотностью перемешиваемой среды (смеси) ρ_c в формуле (31.1) считается плотность основной жидкости $\rho_{ж}$, если плотности отдельных перемешиваемых компонентов отличаются друг от друга не более чем на 30%. В противном случае плотность двухкомпонентной смеси ρ_c определяется по формуле

$$\rho_c = \rho_{ф\psi} + \rho_{ж}(1 - \psi) \quad (31.2)$$

где $\rho_{ж}$ — плотность основной жидкости (дисперсионной среды) в $кг/м^3$;
 $\rho_{ф}$ — плотность дисперсной фазы в $кг/м^3$;
 ψ — объемная доля дисперсной фазы.

Плотность многокомпонентной смеси можно определять по формуле

$$\rho_c = \frac{1}{\sum \frac{x_i}{\rho_i}} \quad (31.3)$$

где x_i — массовые доли компонентов смеси;
 ρ_i — плотности компонентов смеси в $кг/м^3$.

Величина критерия мощности K_M зависит от центробежного критерия Рейнольдса $Re_{ж}$, отношения $\frac{D_k}{d_m}$, типа перемешивающего устройства и конструктивных

особенностей аппарата. На рис. 31.1—31.3 приведены графики для определения K_M для различных типов нормализованных перемешивающих устройств в зависимости от $Re_{ж}$.

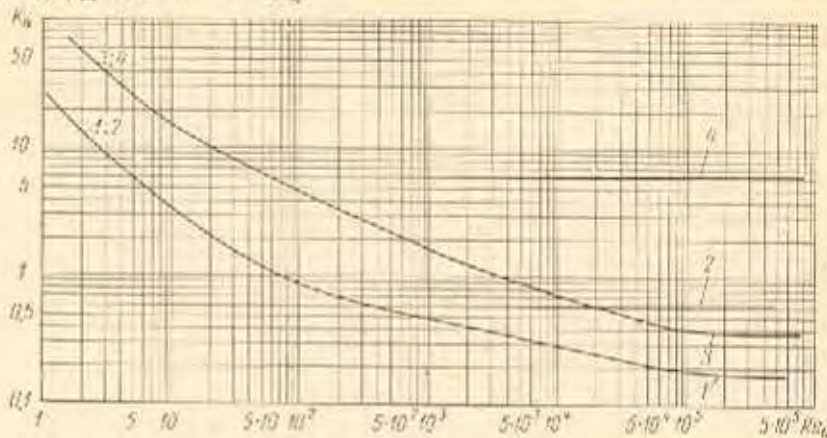


Рис. 31.1. Графики для определения критерия мощности K_M для лопастных (тип 1) и листовых (тип 2) перемешивающих устройств:
 1 — для лопастных перемешивающих устройств при $D_k/d_m = 1,5$; 2 — то же, что и 1, но в аппаратах с перегородками; 3 — для листовых перемешивающих устройств при $D_k/d_m = 2$; 4 — то же, что и 3, но в аппаратах с перегородками

Центробежный критерий Рейнольдса $Re_{ж}$ для любого перемешивающего устройства определяется по формуле

$$Re_{ж} = \frac{\rho_c n d_m^2}{\mu_c} \quad (31.4)$$

где μ_c — динамический коэффициент вязкости смеси в $н \cdot сек/м^2$.

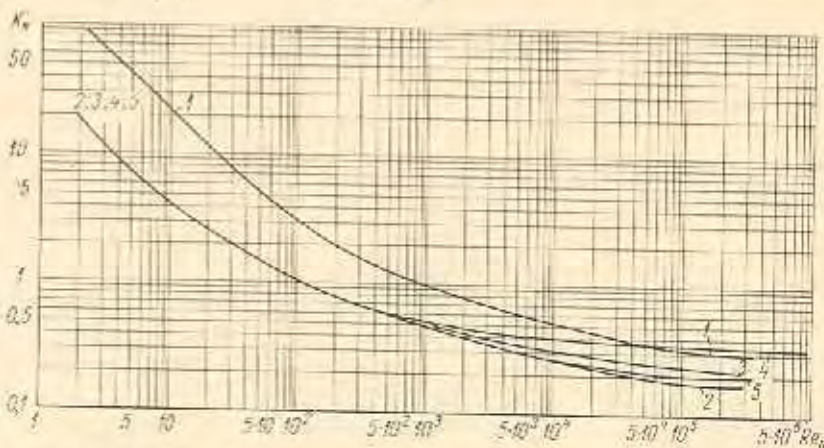


Рис. 31.2. Графики для определения критерия мощности K_M для якорных (тип 0), рамных (тип 4) и пропеллерных (тип 7) перемешивающих устройств:
 1 — для якорных и рамных перемешивающих устройств при $D_k/d_m = 1,15$; 2 — для пропеллерных перемешивающих устройств при $D_k/d_m = 3$; 3 — то же, что и 2, но при $D_k/d_m = 4$; 4 — то же, что 2 и 3, но в аппаратах с перегородками; 5 — то же, что 2 и 3, с наклоняющейся трубой

Динамическим коэффициентом вязкости смеси μ_c в формуле (31.4) считается динамический коэффициент вязкости основной жидкости (при $Re_{ж} > 10^3$) в следующих случаях:

1) при эмульгировании — вне зависимости от вязкости перемешиваемых жидкостей, если $\psi < 0,3$;

¹ По методике, разработанной ЛениНИИхимашем.

Размеры сечений в развертке лопасти пропеллерных перемешивающих устройств
(по МН 5874—66)

Таблица 31.13

$d_{\text{ж}}$	R_0	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9	r_0	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6-r_0
мм																	
300	113	173	260	336	415	500	540	536	510	316	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7
400	124	244	330	442	540	632	752	770	760	540	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0		
500	165	317	444	582	685	808	962	940	905	640	2,0	1,75	1,5	1,35	1,2	1,0	1,0
600	198 340	378	536	700	842	1000	1110	1160	1120	822	2,4	2,0	1,8	1,5	1,4	1,2	1,2
700	230 391	394	612	795	956	1135	1240	1320	1200	843	2,7	2,4	2,1	1,9	1,6	1,4	1,25
800	262 417	525	726	965	1168	1310	1460	1580	1520	1080	3,0 2,9	2,75	2,4	2,1	1,8	1,5	1,5
900	302 440	483	816	1075	1290	1480	1675	1755	1745	1270	3,4 3,2						
1000	373 505	720	1020	1300	1590	1810	2020	2220	2180	1530	3,4 3,2	3,0	2,6	2,3	2,0	1,8	1,8

Примечания:
1. Развертку лопасти см. на рис. 31.10.
2. Два значения для одного и того же типоразмера $d_{\text{ж}}$ относятся к двум конструктивным исполнениям: 1 — нормальному (верхнее значение); 2 — усиленному (нижнее значение).

Угол наклона сечений лопасти в пропеллерных перемешивающих устройствах
(по МН 5874—66)

Таблица 31.14

$d_{\text{ж}}$, мм	Угол α для сечений									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
300	53°45'	45°40'	39°30'	34°35'	30°35'	27°20'	24°45'	22°30'	20°35'	19°00'
400	58°00'	48°45'	41°30'	35°55'	31°25'	27°55'	25°00'	23°40'	20°45'	19°05'
500	58°00'									
600	58°00'									
700	59°40'	50°00'	42°25'	34°30'	32°00'	28°15'	25°15'	22°50'	20°50'	19°10'
800	59°40' 51°48'									
900	60°50' 53°42'	50°45'	43°00'	36°55'	32°10'	28°25'	25°25'	23°00'	20°55'	19°10'
1000	60°50' 56°36'									

Примечания:
1. Конструкцию пропеллера см. на рис. 31.9.
2. Два значения для одного и того же типоразмера $d_{\text{ж}}$ относятся к двум конструктивным исполнениям: 1 — нормальному (верхнее значение); 2 — усиленному (нижнее значение).

Значения коэффициентов q и p в формулах (32.11) и (32.12)

Таблица 32.29

№ схемы	Расчетные схемы реального и приведенного валов	Коэффициент приведения q	Коэффициент приведения p
1		$\frac{12}{(4,6 - 3a_1)^4 a_1^2 (a_1 + 3)}$	$\frac{(a_1 - a)^3 (3a_2 + 4a_1 - 4a)}{a_1^2 (3a_2 + 4a_1)}$
2		$\frac{3}{(4 - 2,2a_1)^4 a_1^2}$	$\frac{(a_1 - a)^3 (1 - a)}{a_1^3}$
3		0,24	a_1^3
4		$\frac{1}{165a_1^3 a_2^3}$	$\frac{a^2 (1 - a)^3}{a_1^3 a_2^3}$
5		$\frac{1}{32a_1^3 a_2^3}$	$\frac{a^2 (1 - a)^2}{a_1^2 a_2^2}$
6		$\frac{1}{20a_1^2 a_2^3 (3 + a_1)}$ $\frac{1}{20a^2 (1 - a)^2 (3 + a)}^*$	$\frac{a^2 [4 - a (3 - a)]^2}{a_1^3 [4 - a_1 (2 + a_2)]^2}$ $\frac{a_1^3 [4 - a_1 (2 + a_2)]^2}{a^2 [4 - a (3 - a)]^2}^*$

* Только для случая приведения массы m или $M_{м1}$ к сосредоточенной массе $M_{м2}$.

Вследствие недостаточной изученности работы гибких валов в различных перемешиваемых средах применять их рекомендуется лишь для однопропеллерных и закрытых турбинных перемешивающих устройств при выполнении условия (32.15) и условий:

$$\frac{D_s}{d_m} \geq 4; \quad (32.18)$$

$$\omega = (1,3 + 1,6) \omega_{01}. \quad (32.19)$$

Разъемные соединения гибкого вала жесткими муфтами на расчетной длине его L не допускаются. В остальном расчет гибких валов идентичен расчету жестких. При этом радиус окружности r в м, по которой вращается центр тяжести приведенной массы вала и перемешивающего устройства, определяется по формуле

$$r = \frac{e^r}{\left(\frac{\omega}{\omega_{01}}\right)^2 - 1}. \quad (32.20)$$

Пример 32.1*. Рассчитать жесткий консольный вал с закрытым турбинным перемешивающим устройством для аппарата емкостью 5 м^3 по следующим данным: $D_s = 1,8 \text{ м}$; $d_m = 0,6 \text{ м}$; $M_m = 29 \text{ кг}$; $\omega = 18,8 \text{ рад/сек}$; $N'_m = 4500 \text{ ат}$; $e = 0,16 \text{ м}$; материал вала — сталь ($E = 2,2 \cdot 10^{11} \text{ н/м}^2$; $\rho = 7,85 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; $\tau_d = 44 \cdot 10^6 \text{ н/м}^2$; $\sigma_d = 80 \cdot 10^6 \text{ н/м}^2$); $\delta = 1 \text{ мм}$; длина вала $L = 3 \text{ м}$; $l_1 = 2,4 \text{ м}$; $l_2 = 0,6 \text{ м}$; расчетная схема вала — 1 (см. табл. 32.28); расстояние сальника от нижнего подшипника $x = 0,5 \text{ м}$.

Приближенное значение диаметра вала определяем по формуле (32.6):

$$d = 1,71 \sqrt[3]{\frac{N'_m}{\omega \tau_d}} = 1,71 \sqrt[3]{\frac{4500}{18,8 \cdot 44 \cdot 10^6}} = 0,03 \text{ м}.$$

* Пример взято из РТМ 145-66 с некоторыми изменениями при оформлении.