

В. А. ГОЛЬЦМАН

ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ И СРЕДСТВ АВТОМАТИКИ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Издание второе, переработанное
и дополненное

Одобрено Ученым советом
Государственного комитета СССР
по профессионально-техническому образованию
в качестве учебного пособия
для средних профессионально-технических училищ



Москва «Высшая школа» 1980

ББК 31.3
Г63
УДК 621.036

Со всеми предложениями и замечаниями просим обращаться по адресу: 101430, Москва, Неглинная ул., 29/14.

Гольцман В. А.

Г63 Приборы контроля и средств автоматики тепловых процессов: Учеб. пособие для сред. проф.-техн. училищ.— 2-е изд., перераб. и доп.— М.: Высш. школа, 1980.— 255 с., ил.— (Профтехобразование. Теплотехника).

В пер.: 65 к.

В книге приведено описание основных приборов, применяемых для контроля и регулирования теплотехнических процессов, и особенностей их эксплуатации.

Значительное внимание уделено автоматизации производства, в частности автоматическим регуляторам, исполнительным механизмам и регулирующим органам.

Второе издание книги переработано с учетом практических достижений в области автоматизации производства, введен материал по ряду новых приборов и приборов перспективного направления.

Г $\frac{30302-255}{052(01)-80}$ 33—80 2303010000

6П2.2
ББК 31.3

© Издательство «Высшая школа», 1976

© Издательство «Высшая школа», 1980, с изменениями

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация является высшей ступенью в сложном комплексе управления теплотехническим производственным процессом. Она открывает неограниченные возможности для повышения производительности труда, еще более быстрых темпов развития производства, создания изобилия продуктов и дальнейшего роста материального благосостояния народа.

Автоматизация — это направление технического прогресса, обеспечивающее построение самодействующих систем, выполняющих те или иные операции или вырабатывающих ту или иную продукцию без непосредственного участия человека.

Различают частичную и комплексную автоматизацию.

Агрегат или участок производства считается частично автоматизированным, если автоматизированы только отдельные операции, при этом координация работы отдельных элементов технологической схемы и управления в целом остается за человеком.

При комплексной автоматизации технологический процесс протекает без участия человека в координации производственного процесса и управлении им.

Если до последнего времени в промышленности автоматизировались главным образом отдельные процессы, то сейчас основным направлением в этой области является комплексная автоматизация.

В настоящем учебном пособии приведены конструктивные особенности приборов, наиболее часто применяемых для автоматизации тепловых процессов и контроля за ними, а также даны подробные пояснения работы электронной части аппаратов, что позволит учащимся научиться читать схемы и обнаруживать неисправности.

§ 1. Основные определения и понятия

Автоматика — отрасль науки и техники, исследующая и применяющая теорию автоматического управления, принципы построения автоматических систем и технические средства, образующие эти автоматические системы.

Автоматической системой регулирования АСР принято называть совокупность регулируемого объекта РО и автоматического регулятора Р, взаимодействующих друг с другом во время совместной работы.

Все АСР можно разделить на две группы:

1. *Разомкнутая АСР*, в которой воздействие регулятора не зависит от выходного сигнала регулируемого объекта (рис. 1).

2. *Замкнутая АСР*, где регулируемый объект и регулятор соединены между собой каналами связи таким образом, что воздействие регулятора зависит от выходного сигнала регулируемого объекта (рис. 2).

Регулируемый объект своим выходом — регулируемой величиной, представленной соответствующим сигналом φ , воздействует на вход регулятора, а регулятор своим выходом μ воздействует на вход объекта и этим противодействует отклонению регулируемой величины от задания η .

Регулируемый объект и регулятор, будучи соединенными между собой каналами связи, образуют контур регулирования.

На рис. 2 регулируемый объект и регулятор образуют один замкнутый контур регулирования, в связи с чем такая АСР является *одноконтурной*.

Многоконтурные системы образуются из нескольких взаимозависимых замкнутых контуров регулирования.

Управляющее воздействие (команда) — это воздействие, которое оказывает управляющее устройство (регулятор) на управляемый объект.

Контрольное воздействие (сигнал обратной связи) — это воздействие управляемого объекта на управляющее устройство (регулятор).

Различают частичную и комплексную автоматизацию производства.

Частичная автоматизация охватывает отдельные участки технологического цикла.

При *комплексной автоматизации* все операции, главные и вспомогательные, в пределах цеха, завода или законченного технологического цикла имеют автоматическое управление.

Диспетчеризация (централизация управления, осуществляемая диспетчером) является следствием автоматизации производства. На щит дежурного диспетчера выносят показания приборов в контрольных точках процесса, сигнальные лампы аварийных ситуаций,

ключи и кнопки управления. Технологический процесс в данном случае находится под контролем дежурного диспетчера, который при необходимости вносит коррективы в работу системы управления.

Регулируемым параметром называется физическая величина, которую требуется поддерживать на определенном значении, например температура, уровень, разрежение и т. д.

Для получения информации о величине параметра используются преобразователи.

Преобразователь (датчик) — чувствительный элемент, реагирующий на изменение технологического процесса. Он является входным элементом всякого автоматического устройства, служащим

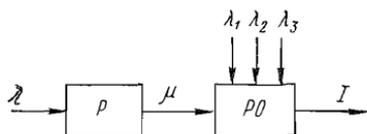


Рис. 1. Разомкнутая система автоматического регулирования:

λ ; λ_1 ; λ_2 ; λ_3 — возмущающие внешние воздействия, P — регулятор, μ — выход регулятора — управляющее внутреннее воздействие, PO — регулируемый объект, I — выходной сигнал

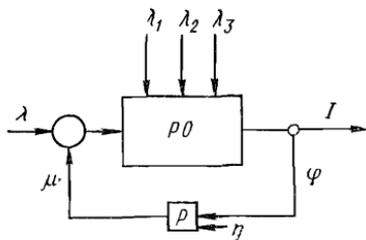


Рис. 2. Замкнутая система автоматического регулирования:

λ ; λ_1 ; λ_2 ; λ_3 — возмущающие внешние воздействия, PO — регулируемый объект, I — выходной сигнал, ϕ — контрольное воздействие, P — регулятор, η — задание, μ — выход регулятора — управляющее, внутреннее воздействие

для восприятия и преобразования величины регулируемого параметра в информационный сигнал, обеспечивающий работу автоматической системы.

Информационный сигнал * отображает изменение или состояние определенной величины в соответствии с принятой условностью информации. Для преобразователя сигналом будет являться энергия на его выходе, соответствующая величине регулируемого параметра, воздействующего на его вход.

Вторичным прибором называется контрольно-измерительный прибор, который воспринимает сигнал, перемещает указатель параметра (стрелку или циферблат), т. е. фиксирует состояние технологического процесса.

Задющий элемент, или задатчик, создает на входе регулятора эталон, с которым сравнивают сигнал преобразователя.

Сигнал, поступающий на вход регулятора или вторичного прибора, и команда регулятора (управляющее воздействие) могут быть *дискретными*, т. е. имеющими только два значения — ноль и максимум, и *аналоговыми*, т. е. изменяющимися непрерывно от нуля до максимума.

* В дальнейшем будем называть просто СИГНАЛ.

Исполнительный механизм — это элемент, приводящий в действие регулирующий орган, который непосредственно воздействует на ход технологического процесса, например электродвигатель, поворачивающий регулируемую заслонку в топливном трубопроводе. Часто исполнительный механизм конструктивно неотделим от регулирующего органа. Таким устройством является пневматический клапан.

§ 2. Классификация приборов

Теплотехнические контрольно-измерительные приборы можно разделить на две группы: преобразователи (датчики) и вторичные приборы.

Первичный преобразователь замеряет физические параметры измеряемого объекта (температуру, расход, давление и т. д.) и преобразует их в сигналы определенного вида энергии (электричество, сжатый воздух или жидкость под давлением).

С помощью линий связи (провода или импульсные трубки) сигнал передается на показывающий вторичный прибор, регулятор или счетно-вычислительное устройство. В тех случаях, когда приемное устройство может принимать только унифицированные сигналы или требуется преобразовать вид энергии, в схему включается преобразователь.

Преобразователи могут быть «слепыми», служащими только для передачи показаний на вторичные приборы, и показывающими, в конструкцию которых включено стрелочное и циферблатное устройство.

Вторичные приборы разделяются на показывающие, самопишущие, или регистрирующие, суммирующие, или счетчики.

Показывающие приборы указывают значение измеряемой величины в данный момент времени. Отсчет ведется по положению стрелки относительно шкалы прибора.

Самопишущие приборы производят автоматическую запись результатов измерения в течение всего времени работы прибора. Большинство самопишущих приборов имеет и показывающее устройство. Суммирующие приборы (счетчики) показывают значение параметра не в текущий момент, а за определенный отрезок времени.

Контрольно-измерительные приборы можно разделить в зависимости от измеряемого параметра на следующие основные группы: измерения температуры, давления, расхода, уровня, приборы физико-химического анализа.

В группе электрических приборов сигнал преобразователя является электрическим, т. е. с изменением величины измеряемого параметра преобразователь меняет величину напряжения, тока, электрического сопротивления, емкости, индуктивности и т. д.

В группе пневматических приборов используется энергия сжатого воздуха, с помощью которой осуществляется передача сигнала,

приводится в действие вторичный прибор и исполнительный механизм.

В группе гидравлических приборов основным источником энергии является жидкость (чаще всего масло), находящаяся под давлением. На практике довольно часто применяют смешанную систему, в которой могут использоваться и те и другие приборы. Например, преобразователь и вторичный прибор являются электрическими, а исполнительный механизм пневматическим. В таких системах для перехода с одного вида энергии на другой применяются специальные преобразователи.

Все контрольно-измерительные приборы разделяются по классам точности. *Класс точности* прибора определяет, с какой точностью или погрешностью может работать прибор.

Абсолютной погрешностью показаний приборов называют разность между показанием прибора и действительным значением измеряемой величины.

Класс точности прибора определяется как погрешность в показаниях прибора в процентах от максимального значения шкалы. Например, если класс точности прибора равен 0,5, а максимальное значение шкалы 100°, это значит, что ошибка в измерении может быть не более 0,5% от максимального значения шкалы, т. е. полградуса. Поэтому надо учитывать, что чем меньше показания прибора в текущий момент, тем больший процент ошибки он допускает, так как 0,5° ко всей шкале в 100° составляет 0,5%, а к показаниям в 10° — 5%.

В практике промышленных измерений чаще всего встречаются приборы классов точности 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5.

Относительной погрешностью называется отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины.

§ 3. Государственная система приборов. Международная система единиц

Большим достижением в области развития приборостроения в нашей стране явилось создание единой Государственной системы приборов и средств автоматизации — ГСП.

ГСП представляет собой сочетание максимально унифицированных блоков, приборов, элементов и устройств с широким диапазоном возможностей — от осуществления автоматического контроля и регулирования отдельных процессов до решения задач комплексной автоматизации, предусматривающих использование новейших средств вычислительной техники.

В соответствии с разработанными принципами, определенными ГОСТ 12997—76 «Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации. Общие технические требования», ГСП предусматривает единую классификацию средств контроля и управления, унификацию входных и выходных сигналов, параметров питающих устройств, введения единого ряда требований к точ-

Таблица 1. Основные физические величины и переводные коэффициенты

Наименование величины	Система единиц	Единица измерений	Сокращенное обозначение	Размер единицы	Коэффициент для приведения к единицам СИ
Сила, сила тяжести, масса	СИ	ньютон	Н	$(1 \text{ кг}) \times \times (1 \text{ м}) : : (1 \text{ с})^2$	$1 \text{ кгс} = = 9,80665 \text{ Н}$
	МКГСС	килограмм-сила	кгс	$(1 \text{ г}) \times \times (1 \text{ см}) : : (1 \text{ с})^2$	
Работа, энергия	СИ	джоуль	Дж	$(1 \text{ Н}) \times \times (1 \text{ м})$	$1 \text{ кгс} \cdot \text{м} = = 9,80665 \text{ Дж}$
	МКГСС	килограмм-сила-метр	кгс·м	$(1 \text{ кгс}) \times \times (1 \text{ м})$	
Мощность	СИ	ватт	Вт	$(1 \text{ Дж}) : : (1 \text{ с})$	$1 \frac{\text{кгс} \cdot \text{м}}{\text{с}} = = 9,80665 \text{ Вт}$
	МКГСС	килограмм-сила-метр в секунду	$\frac{\text{кгс} \cdot \text{м}}{\text{с}}$	$(1 \text{ кгс}) \times \times (1 \text{ м}) : : (1 \text{ с})$	
Давление	СИ	паскаль	Па	$(1 \text{ Н}) : (1 \text{ м})^2$	$1 \frac{\text{кгс}}{\text{м}^2} = = 9,80665 \text{ Па}$
	МКГСС	килограмм-сила на квадратный метр	$\frac{\text{кгс}}{\text{м}^2}$	$(1 \text{ кгс}) : : (1 \text{ м})^2$	
	Внесистемные единицы	миллиметр водяного столба	мм вод. ст.	—	$1 \text{ мм вод. ст.} = = 9,80665 \text{ Па}$
техническая атмосфера		$\frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$ или ат	—	$1 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} = = 9,80665 \times \times 10^4 \text{ Па}$	
миллиметр ртутного столба		мм рт. ст.	—	$1 \text{ мм рт. ст.} = = 133,332 \text{ Па}$	

ности технических средств, надежности, условиям эксплуатации, а также введение единого ряда габаритных и присоединительных размеров.

Для измерений и сравнения между собой результатов измерений пользуются *единицами измерения* (например, граммы, метры, градусы и т. д.). Единицы измерения, размеры которых служат только для измерения независимых друг от друга величин (например, массы, температуры, длины, силы тока и т. д.), называются *основными величинами*. Единицы измерения, размеры которых устанавливаются как следствие использования основных единиц, называются *производными*. Например, к производным единицам можно отнести площадь, измеряемую в квадратных метрах, в противоположность основной единице длины — метру. Основные и производные единицы образуют *систему единиц*.

До 1963 г. в Советском Союзе действовал ряд отраслевых систем единиц (МКС, СГС, МКГСС для механических величин; МКСА, СГС для электрических и магнитных величин и т. д.). С 1 января 1963 г. в Советском Союзе введена Международная система единиц СИ. В этой связи в книге дается переводная таблица (табл. 1) некоторых физических единиц измерения.

Контрольные вопросы

1. Что такое преобразователь (датчик) и вторичный прибор?
2. Что такое замкнутая и разомкнутая АСР?
3. Что такое ГСП?

Глава II

СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ ПОКАЗАНИЙ

§ 4. Дифференциально-трансформаторная система

На рис. 3 в квадрате D показана принципиальная схема электрического преобразователя дифференциально-трансформаторной системы.

В немагнитном корпусе помещены четыре катушки: $W1$, $W1-1$, $W2$, $W2-1$. Между катушками укрепленный на штоке 9 ходит плунжер 2 из ферромагнитного материала. Шток соединяется с чувствительным элементом преобразователя (с той частью его конструкции, перемещение которой необходимо измерить, например с поплавком, измеряющим уровень воды в резервуаре). При изменении уровня поплавков, а следовательно, шток 9 и плунжер 2 будут менять свое положение по отношению к неподвижным катушкам индикатора линейного перемещения.

На первичные катушки $W1$ и $W1-1$ подается напряжение переменного тока. Катушки $W1$ и $W1-1$ создают переменный магнитный поток, который, замыкаясь через плунжер, пронизывает витки вторичных катушек $W2$ и $W2-1$, возбуждая в них эдс.

Во вторичный прибор встраивается преобразующий элемент Π , шток которого скользит по кулачку 5. Приводом кулачка является двигатель 6. С кулачком связана стрелка показывающей шкалы 4. В корпусе вторичного прибора смонтирован электронный усилитель 7 и питающий трансформатор 8.

Катушки $W1$ и $W1-1$ преобразователя и вторичного прибора соединены встречно. Точкой на рисунке обозначено начало обмотки.

Катушки $W2$ и $W2-1$ каждого преобразующего элемента соединены встречно. Пока плунжер преобразующего элемента преобразо-

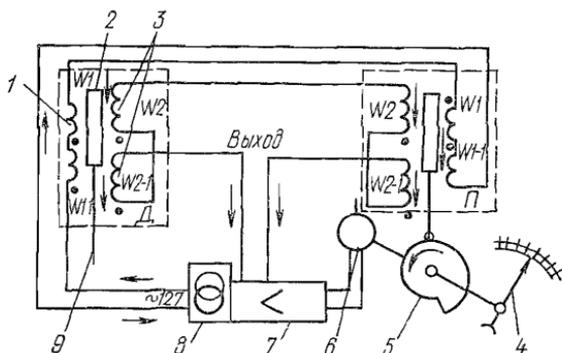


Рис. 3 Принципиальная электрическая схема дифференциально-трансформаторной системы:

1 — первичные катушки, 2 — плунжер, 3 — вторичные катушки, 4 — шкала и стрелка вторичного прибора, 5 — кулачок, 6 — электродвигатель, 7 — электронный усилитель, 8 — трансформатор, 9 — шток чувствительного элемента преобразователя, Д — преобразующий элемент преобразователя, П — преобразующий элемент вторичного прибора

зователя D стоит в нормальном положении, т. е. посередине между катушками, в обеих катушках $W2$ и $W2-1$ индуцируется эдс одинаковой величины, а так как катушки соединены встречно, то на выходе преобразующего элемента напряжения нет. Стрелками на рис. 3 показаны мгновенные направления токов. Примем, что ток в данный полупериод в катушках $W1$ и $W1-1$ идет «от начала к концу», тогда во вторичных катушках $W2$ и $W2-1$ ток будет идти «от конца к началу».

Если шток 9 преобразователя переместится вверх, то большая часть плунжера 2 будет находиться между катушками $W1$, $W2$ и через них будет замыкаться основная часть магнитного потока. Это приведет к тому, что эдс в катушке $W2$ станет больше, чем в катушке $W2-1$. На выходе преобразователя D появится напряжение, поступающее на вход усилителя. Сигнал (команда) на выходе усилителя приведет в действие электродвигатель 6, и он будет вращать кулачок 5 так, чтобы плунжер преобразующего элемента Π поднимался.

Перемещение плунжера преобразующего элемента вторичного прибора приведет к увеличению эдс в катушке $W2$. Когда плунжер

преобразующего элемента вторичного прибора займет такое же положение, как и плунжер преобразующего элемента преобразователя, сигнал преобразователя будет скомпенсирован, на входе усилителя напряжение исчезнет и электродвигатель 6 остановится. Стрелка прибора покажет новое значение измеряемого параметра.

В зависимости от хода плунжера дифференциально-трансформаторные преобразователи выпускаются в трех модификациях — ПДЗ, ПД4, ПД5, у которых максимальное перемещение плунжера от магнитной нейтралли равно соответственно $\pm 1,5$; ± 2 ; $\pm 2,55$ мм. Номинальный ток питания преобразователя 320 мА. Пределы изменения сигнала 1—0—1 В или 10—0—10 мВн. Потребляемая мощность преобразователя 5 Вт. Допустимая длина линии связи зависит от сопротивления и емкости линий. При применении контрольных кабелей с медными жилами сечением 1—1,5 мм² с резиновой изоляцией жил длина линии связи может достигать 250 м.

§ 5. Ферродинамическая система

В ферродинамической системе преобразование значений измеряемого параметра в электрический сигнал выполняется элементами ПФ, которые встраивают в преобразователи и вторичные приборы системы. На рис. 4 показано устройство ферродинамического преобразующего элемента.

На полюсный наконечник 5 насажена обмотка возбуждения 6. Над наконечником укреплен полюсный башмак 2 и магнитный сердечник 3. Ось магнитного сердеч-

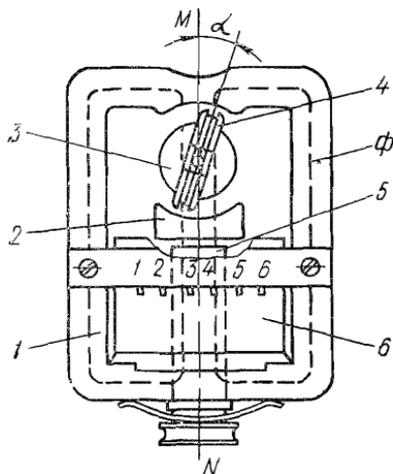


Рис. 4. Ферродинамический преобразующий элемент:

1 — магнитопровод, 2 — башмак, 3 — сердечник, 4 — рамка, 5 — полюсный наконечник, 6 — обмотка возбуждения

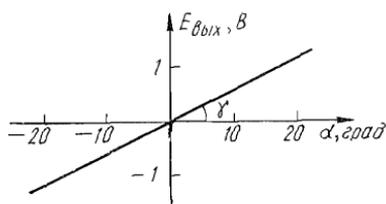


Рис. 5. Статическая характеристика ферродинамического преобразующего элемента:

$E_{\text{вых}}$ — эдс на выходе преобразующего элемента, α — угол поворота рамки, γ — угол наклона характеристики

ника поворачивается под воздействием той части конструкции преобразователя, угловое перемещение α которой измеряется. На магнитный сердечник надета рамка 4, несущая на себе вторичную обмотку. Все устройство помещено в магнитопровод 1.

При питании обмотки возбуждения переменным током создается переменный магнитный поток Φ , силовые линии которого охватывают сердечник и рамку со вторичной обмоткой. Когда плоскость рамки занимает вертикальное положение, совпадающее с осью полюсов $M-N$, значение наведенной в ней эдс равно нулю, так как магнитный поток не пересекает плоскость рамки. Если сердечник повернуть так, чтобы рамка стала плоскостью, перпендикулярной оси магнитного потока $M-N$, то на выходе рамки будет максимальный сигнал. Во всех промежуточных положениях выходное на-

пряжение пропорционально углу поворота рамки α . Конструкция преобразующего элемента допускает максимальный угол поворота рамки $\pm 20^\circ$ от оси $M-N$. Фаза эдс рамки зависит от направления отклонения рамки от нейтрали.

Зависимость выходной эдс от угла поворота α практически представляет прямую линию (рис. 5). Наклон этой прямой (угол γ)*

можно регулировать, изменяя воздушный зазор между полюсным наконечником 5 и башмаком 2 (см. рис. 4).

Обмотки возбуждения преобразователя и вторичного прибора подключаются к трансформатору питания последовательно.

Включение вторичных обмоток преобразователя и вторичного прибора ферродинамической системы осуществляется по компенсационному принципу, т. е. таким образом, чтобы сигналы преобразующих элементов обоих приборов были направлены навстречу друг другу. Если эдс рамки преобразующего элемента вторичного прибора не равна эдс преобразующего элемента преобразователя, то разница этих двух сигналов поступает на электронный усилитель.

Под воздействием команды электронного усилителя вращается электродвигатель, на оси которого находятся стрелка и рамка преобразующего элемента. Вращение двигателя происходит до тех пор, пока сигнал преобразователя не будет скомпенсирован.

Преобразующие элементы выпускаются шести модификаций, различающихся напряжением питания и выходным сигналом. Параметры преобразующих элементов приведены в табл. 2.

Длина линии связи между преобразователем и вторичным прибором при применении контрольных кабелей с медными жилами сечением $1,5 \text{ мм}^2$ с резиновой изоляцией должна составлять не более 1000 м.

Таблица 2. Параметры преобразующих элементов ферродинамической системы

Шифр модификации	Напряжение питания, В	Пределы изменения выходного сигнала, В
ПФ 1	60	1—0—1
ПФ-2	12	1—0—1
ПФ-3	60	0—2
ПФ-4	12	0—2
ПФ-5	60	1—3
ПФ-6	12	1—3

* То есть чувствительность преобразующего элемента.

§ 6. Центральная ветвь ГСП. Система унифицированного сигнала постоянного тока

В рассматриваемой системе выходным сигналом преобразователей является стандартный непрерывный (аналоговый) сигнал постоянного тока, изменяющийся в зависимости от величины измеряемого технологического параметра. Пределы изменения выходного сигнала постоянного тока 0—20 или 0—5 мА.

Входным сигналом унифицированного преобразователя может быть усилие, возникающее при деформации чувствительного элемента преобразователя, или аналоговый сигнал (эдс термоэлектрического термометра, изменение сопротивления терморезистора и т. п.). Рассмотрим оба этих случая.

В первом случае измеряемый параметр воздействует на чувствительный элемент измерительного блока. Перемещение рычага чувствительного элемента преобразуется в усилие, которое автоматически уравнивается усилием, развиваемым силовым механизмом обратной связи преобразующего элемента при протекании в нем постоянного тока. Этот ток является одновременно выходным сигналом преобразователя, который регистрируется показывающим измерительным прибором (миллиамперметром).

Усилие P чувствительного элемента преобразователя (рис. 6) через рычажный передаточный механизм преобразующего элемента, состоящий из Т-образного рычага 1 и Г-образного рычага 2, передается на рычаг 8. Рычаг 8 связан с флажком 5 индикатора рассогласования 6. Возникшее на индикаторе напряжение рассогласования подается на вход усилителя 7, сигнал с выхода которого поступает в силовое устройство обратной связи 9 и одновременно в линию дистанционной передачи. В силовом устройстве обратной связи 9 вырабатывается усилие $P_{ос}$, пропорциональное сигналу усилителя. Это усилие через рычаг 8 уравнивает усилие P чувствительного элемента преобразователя.

Прибор настраивается на заданный диапазон измерения путем изменения передаточного отношения рычажного механизма при плавном перемещении наездника 3 вдоль рычагов 1 и 2. Нулевое

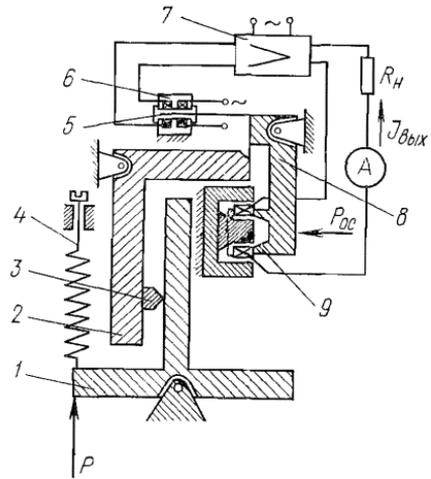


Рис. 6 Принципиальная схема унифицированного электросилового преобразующего элемента

1, 2, 8 — рычаги, 3 — наездник настройки, 4 — пружинный корректор, 5 — флажок, 6 — индикатор рассогласования, 7 — электронный усилитель, 9 — устройство обратной связи

значение сигнала прибора устанавливается пружинным корректором 4.

Питание индикатора рассогласования осуществляется переменным током промышленной частоты 50 Гц от трансформатора электронного усилителя.

Индикатор представляет собой дифференциально-трансформаторный преобразующий элемент, принцип работы которого такой же, как принцип работы преобразователя в дифференциально-трансформаторной системе передачи показаний. Конструктивное отличие преобразователя заключается в том, что взаимоиндуктивность катушек изменяется не за счет поступательного движения плунжера, а за счет бокового перемещения пермаллового флажка 5. Питание преобразователя осуществляется переменным током напряжением 3 В.

Устройство обратной связи выполнено как постоянный магнит, на который надвигается рамочка с током, закрепленная на Г-образном рычаге 8. Чем больше выходной сигнал усилителя, тем больше ток в обмотке обратной связи и тем больше сила взаимодействия между рамочкой и постоянным магнитом. Следовательно, усилие обратной связи $P_{ос}$ прямо пропорционально усилию возмущения P . Габариты преобразующего элемента 182×190 мм.

Электронный усилитель УП-20 входит в комплект преобразующего элемента, но представляет собой отдельный блок, который должен размещаться не далее 150 м от преобразователя. Связь преобразователя с усилителем осуществляется экранированным кабелем.

На рис. 7 показана принципиальная электрическая схема полупроводникового усилителя УП-20.

Дифференциально-трансформаторный индикатор рассогласования И датчика с токовым унифицированным выходным сигналом питается переменным током промышленной частоты от обмотки VI (зажимы 8, 7 штекерного разъема Шв) силового трансформатора Tr1. Выходной сигнал рассогласования преобразователя поступает на зажимы 6, 5 штекерного разъема усилителя. На транзисторах T1 и T2 в усилителе собран первый каскад усиления по напряжению. Силовая цепь усилителя питается от обмотки V трансформатора через выпрямители Д12 и Д13 по двухполупериодной схеме выпрямления.

На рис. 8, а показана упрощенная схема работы двух первых каскадов усилителя. Из этой схемы видно, что с изменением знака сигнала рассогласования, поступающего на базу входного транзистора T1, изменяется фаза тока в трансформаторе Tr2.

Пусть входящий сигнал (рис. 8, б) имеет положительный потенциал (кривая 1), тогда ток эмиттер — коллектор транзистора T1 будет уменьшаться при увеличении действующего значения синусоиды сигнала. Уменьшение коллекторного тока в нагрузке на резисторе R2 уменьшит падение напряжения на нем и приведет к увеличению отрицательного напряжения на базе триода T2 (кривая 2), а следовательно, к увеличению коллекторного тока транзи-

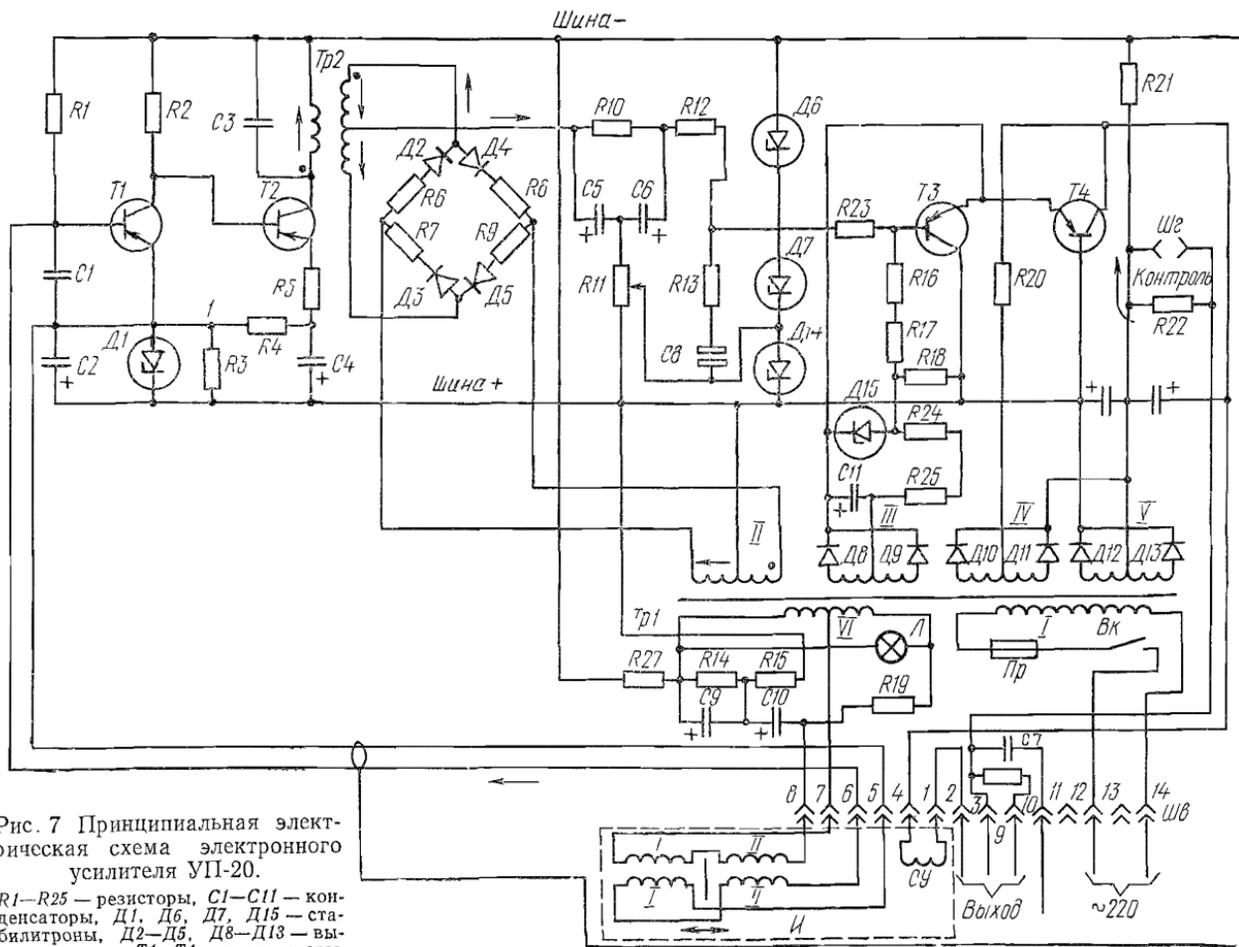


Рис. 7 Принципиальная электрическая схема электронного усилителя УП-20.

$R1-R25$ — резисторы, $C1-C11$ — конденсаторы, $Д1, Д6, Д7, Д15$ — стабилизаторы, $Д2-Д5, Д8-Д13$ — выпрямители, $Т1-Т4$ — транзисторы,

$Тр1, Тр2$ — трансформаторы, $Шк$ — штекер контрольного прибора, $Шв$ — входной штекерный разъем усилителя, $СУ$ — силовое устройство обратной связи, $Л$ — сигнальная лампа, $Пр$ — предохранитель, $Вк$ — выключатель, $И$ — индикатор рассогласования преобразователя

стора, который идет через первичную обмотку трансформатора $Tr2$ (кривая 3). Если бы в момент времени t_1 сигнал индикатора рас-согласования имел бы другую полярность, как показано пунктиром на кривой 1, то полярность на кривых 2 и 3 также изменилась бы. Следовательно, изменилось бы направление тока в обмотках трансформатора $Tr2$.

Проследим цепи тока на схеме усилителя (см. рис. 7).

Уменьшение управляющего тока триода $T1$ приведет к уменьшению тока в коллекторной цепи транзистора. Цепь: шина+, резистор $R3$, переход эмиттер — коллектор, резистор $R2$, шина—. Па-

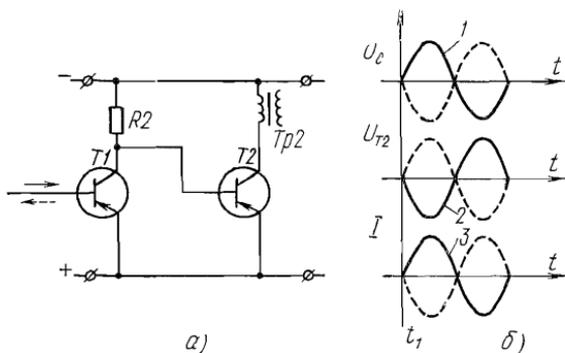


Рис. 8 Упрощенная схема двух первых каскадов усилителя УП-20.

a — схема каскада, b — временные графики тока и напряжения, $T1, T2$ — транзисторы, $R2$ — резистор, $Tr2$ — трансформатор, 1 — кривая входного сигнала, 2 — кривая напряжения на базе транзистора $T2$, 3 — кривая тока в первичной обмотке трансформатора $Tr2$

дение напряжения на резисторе $R2$ уменьшается, а следовательно, уменьшится положительный потенциал на базе транзистора $T2$, что приведет к увеличению тока в цепи управления транзистора $T2$. Цепь: шина+, резисторы $R3, R4, R5$, переход эмиттер — база транзистора $T2$, резистор $R2$, шина—. Соответственно увеличится ток коллекторной цепи транзистора $T2$. Цепь: шина+, резисторы $R3, R4, R5$, переход эмиттер — коллектор, нагрузка шина—. На резисторе $R3$ осуществляется отрицательная обратная связь первого каскада усиления. С увеличением тока через резистор $R3$ падение напряжения на нем увеличится, что приведет к уменьшению потенциала в точке 1, а следовательно, к снижению напряжения на эмиттере транзистора $T2$.

Нагрузкой транзистора $T2$ является первичная обмотка трансформатора $Tr2$. Усиленный предварительным усилителем сигнал переменного тока через согласующий трансформатор $Tr2$ поступает на фазочувствительный выпрямительный мост $D2—D5$, а оттуда на усилитель постоянного тока, собранный на транзисторах $T3$ и $T4$.

Фазочувствительный выпрямитель позволяет получать ток с изменяющейся полярностью на входе каскада усиления постоянного тока в зависимости от полярности сигнала преобразователя, т. е. в зависимости от перемещения флажка индикатора в ту или другую сторону от заданного начального положения.

На рис. 9 показана упрощенная схема узла выпрямления усиленного выходного сигнала и подача его на следующий каскад схемы.

Как мы убедились, направление тока в трансформаторе $Tr2$ зависит от полярности входного сигнала. Пусть направление тока во вторичной обмотке трансформатора $Tr2$ от начала обмотки (обозначено точкой) к концу, а фаза сетевого напряжения такова, что ток в обмотке $II Tr1$ тоже идет от начала к концу, как показано сплошными стрелками. Под действием напряжения обмотки II диоды $D3$ и $D5$ окажутся запертыми по цепи: конец обмотки II , резистор $R7$, диоды $D3$, $D5$, резистор $R9$, начало обмотки II . Диоды $D2$ и $D4$, наоборот, открыты.

Под действием напряжения вторичной обмотки $Tr2$ возникает ток в цепи: начало обмотки, середина обмотки, резистор $R12$, конденсатор $C8$, обмотка $II Tr1$, резистор $R6$, диод $D2$, обмотка $Tr2$. В следующий полупериод, когда полярность сетевого напряжения изменится, одновременно изменится и полярность напряжения во вторичной обмотке $Tr2$, так как она зависит от полярности сигнала преобразователя, обмотки которого питаются от той же сети.

Теперь под действием напряжения обмотки $II Tr1$ (показано пунктирной стрелкой) будут заперты диоды $D4$ и $D2$ и открыты диоды $D5$ и $D3$.

Проследив цепи тока, обозначенные пунктирными стрелками, мы убедимся, что полярность зарядки конденсатора осталась прежней.

Пусть теперь изменится полярность входного сигнала в полупериод сетевого напряжения, показанного на обмотке $II Tr1$ сплошной стрелкой. В этом случае ток во вторичной обмотке $Tr2$ обозначен стрелкой с точками. Если проследить цепи тока, мы убедимся, что полярность зарядки конденсатора $C8$ изменилась.

Таким образом, полярность и величина потенциала зарядки конденсатора зависит от полярности и величины напряжения вторич-

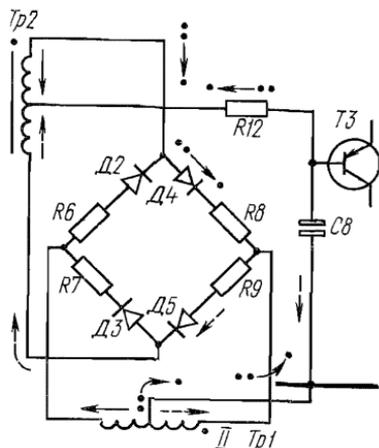


Рис 9 Упрощенная схема узла выпрямления усилителя УП-20:

$Tr2$ — входной трансформатор, $Tr1$ — силовой трансформатор, $D2-D5$ — диоды, $R6-R12$ — резисторы, $C8$ — конденсатор, $T3$ — входной транзистор последнего каскада

ной обмотки $Tp2$, а следовательно, от полярности и величины сигнала преобразователя.

Потенциал на базе входного триода $T3$ последнего каскада зависит от фазы и величины заряда конденсатора $C8$.

Проследим цепи тока на действительной схеме (см. рис. 7). Цепь заряда конденсатора $C8$ с плюсом на верхней по схеме обкладке: середина обмотки $Tp2$, резисторы $R10$, $R12$, $R13$, конденсатор $C8$, резистор $R11$, шина+, средняя точка обмотки II $Tp1$, конец обмотки II , резистор $R6$, диод $D2$, начало обмотки $Tp2$.

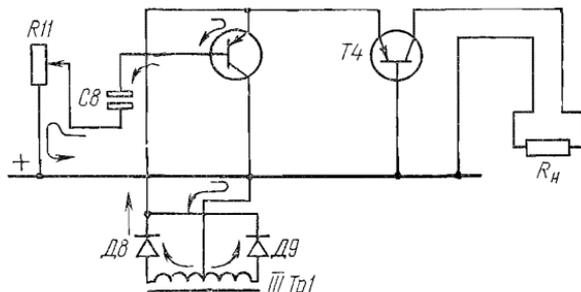


Рис 10 Упрощенная схема последнего каскада усиления усилителя УП-20

$R11$ — резистор, R_n — сопротивление нагрузки, $III Tp1$ — обмотка трансформатора, $T3$, $T4$ — транзисторы, $D8$, $D9$ — выпрямители

Цепь заряда конденсатора $C8$ с плюсом на нижней по схеме обкладке начало вторичной обмотки $Tp2$, диод $D4$, резистор $R8$, начало обмотки II $Tp1$, средняя точка обмотки II $Tp1$, шина+, резистор $R11$, конденсатор $C8$, резисторы $R13$, $R12$, $R10$, средняя точка вторичной обмотки $Tp2$.

Упрощенная схема работы последнего каскада усиления представлена на рис. 10.

Работа последнего триода $T4$ зависит от триода $T3$, силовая цепь которого шунтирует цепь управления триода $T4$. Поэтому напряжение на переходе эмиттер — база триода $T4$ равно напряжению на сопротивлении перехода эмиттер — коллектор триода $T3$, т. е. ток управления триода $T4$ обратно пропорционален проводимости коллекторной цепи триода $T3$. В цепь управления триода $T3$ включен конденсатор $C8$. Цепь: обмотка III $Tp1$, диоды $D8$, $D9$, переход эмиттер — база триода $T3$, конденсатор $C8$, резистор $R11$, шина+, середина обмотки III $Tp1$.

Если конденсатор $C8$ заряжен положительно (плюс на верхней по схеме обкладке), его сопротивление в цепи управления триодом $T3$ велико, если он заряжен отрицательно, то его сопротивление минимально и ток его разряда (показан стрелками) добавляется к току управления триода $T3$.

Если триод $T3$ открыт полностью, то сопротивление его перехода эмиттер — коллектор минимально, а следовательно, минимальны напряжение и ток цепи управления триода $T4$. Поэтому в нагрузке R_n ток равен нулю или минимален. С ростом сопротивления коллекторного перехода $T3$ ток управления $T4$ растет и растет ток в нагрузке R_n по цепи: обмотка III $Tr1$, диоды $D8, D9$, переход эмиттер — коллектор триода $T4$, нагрузка R_n , шина+, средняя точка обмотки III $Tr1$.

Проследим цепи тока на действительной схеме (см. рис. 7). Цепь управления транзистора $T3$: выпрямитель $D8, D9$, обмотки III трансформатора $Tr1$, эмиттер — база триода $T3$, резисторы $R16, R17, R24, R25$, средняя точка обмотки III .

Цепь коллекторного тока $T3$: диоды $D8, D9$, переход эмиттер — коллектор триода $T3$, резистор $R18$, резисторы $R24, R25$, средняя точка обмотки III .

Цепь управления транзистора $T4$: диоды $D8, D9$, переход эмиттер — база $T4$, шина+, резистор $R18, R24, R25$, средняя точка обмотки III $Tr1$.

Цепь коллекторного тока триода $T4$: диоды $D8, D9$, переход эмиттер — коллектор транзистора $T4$, зажим 4 штекерного разъема, катушка силового устройства обратной связи $СУ$, зажим 1 штекерного разъема, зажим 2 разъема, внешняя нагрузка (входное сопротивление вторичного прибора регулятора), зажим 3 разъема, резисторы $R22, R21$, стабилитроны $D6, D7, D14$, резисторы $R18, R24, R25$, средняя точка обмотки III трансформатора $Tr1$. Чем больше уходит флажок индикатора рассогласования от нейтрального положения, тем больше заряжается конденсатор $C8$ и тем больший ток на выходе усилителя. Остаточный ток триода $T4$, протекающий через нагрузку, компенсируется током противоположного направления от отдельного источника напряжения (диоды $D10, D11$). Сопротивление резистора $R17$ подбирается при настройке начального значения выходного тока.

В качестве примера унифицированного нормирующего преобразователя, на вход которого поступает ненормированный аналоговый сигнал, рассмотрим измерительный преобразователь ПТ-ТС-68.

Измерительный преобразователь ПТ-ТС-68 предназначен для преобразования изменения сопротивления термометра сопротивления в унифицированный выходной сигнал постоянного тока 0—5 мА. Преобразователь может быть использован с любыми показывающими приборами и регуляторами, а также электронно-вычислительными машинами, рассчитанными на прием сигнала 0—5 мА.

Упрощенная принципиально-структурная схема преобразователя представлена на рис. 11.

Схема преобразователя условно может быть разбита на пять узлов. Узел измерительного моста, узел основного магнитного усилителя $УМ-1$, узел транзисторного усилителя $ПП-1$, узел выделения сигнала (резисторы $R26, R29$) и узел магнитного усилителя обратной связи $УМ-2$.

В одно из плеч измерительного моста включен термометр сопротивления, являющийся первичным преобразователем рассматриваемой системы. С изменением измеряемой температуры меняется выходное напряжение $U_{R_{TC}}$ на зажимах $a, б$ измерительного моста. Транзисторный каскад содержит один кремниевый транзистор. Начальный режим транзистора обеспечивается подачей сигнала смещения на базу от делителя, образованного кремниевым диодом $D12$ и резистором $R22$.

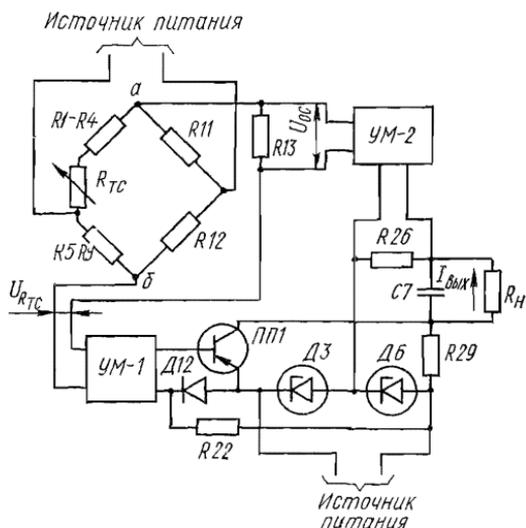


Рис. 11. Упрощенная принципиально-структурная схема измерительного преобразователя ПТ-ТС-68.

R_{TC} — термометр сопротивления, $R1-R4, R11, R12, R5-R9, R13, R22, R26, R29$ — резисторы, R_N — сопротивление нагрузки, $C7$ — конденсатор, ПП-1 — транзистор, $D12$ — диод, $D3, D6$ — стабилитроны

Ток начального режима транзистора создает падение напряжения на резисторе $R29$. (Ток этого напряжения компенсирует ток, возникающий через резистор $R26$ в связи с действием напряжения, снимаемого со стабилитрона $D6$.) Таким образом, если измерительный мост уравновешен и на выходе усилителя $UM-1$ сигнала нет, то на выходе преобразователя в нагрузку R_N тока нет. Выходной сигнал усилителя $UM-1$ увеличивает управляющий ток базы транзистора ПП-1 (диод $D12$ открыт током делителя), что, в свою очередь, увеличивает ток через резистор $R29$, а следовательно, через нагрузку R_N .

Часть сигнала, пропорциональная току нагрузки, снимается с резистора $R26$ и подается на вход усилителя обратной связи $UM-2$. Усиленный сигнал обратной связи замыкается на резистор $R13$ со знаком, обратным знаку выходного сигнала измерительного моста.

Преобразователь выполнен по схеме статической автокомпенсации. Изменение выходного сигнала $U_{R_{TC}}$ измерительного моста пропорционально изменению сопротивления термометра сопротивления R_{TC} , стоящему в одном из плеч моста. Выходное напряжение $U_{R_{TC}}$ моста почти полностью уравнивается напряжением сигнала обратной связи U_{oc} . Часть сигнала, оставшаяся неуравновешенной, поступает на усилитель $UM-1$.

При достаточно большом коэффициенте усиления каскада магнитного усилителя УМ-1 и транзисторного каскада обеспечивается зависимость

$$I_{\text{вых}} \approx \frac{U_{R_{\text{гс}}}}{nR_{\text{ос}}},$$

где $I_{\text{вых}}$ — выходной ток преобразователя; $U_{R_{\text{гс}}}$ — напряжение на выходе измерительного моста, $R_{\text{ос}}$ — сопротивление обратной связи (резистор $R13$); n — коэффициент передачи устройства обратной связи.

Таким образом, при неизменных $R_{\text{ос}}$ и n выходной ток преобразователя изменяется пропорционально изменению сопротивления термометра сопротивления.

Выходной сигнал постоянного тока передается по двухпроводной линии связи с сечением жилы 1—1,5 мм². Могут быть использованы в качестве линии связи и телефонные провода.

§ 7. Система преобразовательных элементов с магнитной компенсацией

Научно-исследовательским институтом НИИтеплоприбор разработаны преобразовательные элементы с магнитной компенсацией перемещения воспринимающего чувствительного элемента.

В комплект преобразовательного элемента входит чувствительный элемент, воспринимающий изменение измеряемого технологического параметра, постоянный магнит, перемещающийся пропорционально изменению измеряемого технологического параметра, магнитомодуляционный преобразователь перемещения, в котором происходит компенсация магнитных потоков, электронный усилитель и устройство обратной связи.

На рис. 12 показана принципиальная конструктивная схема преобразующего элемента с магнитной компенсацией. В металлическом корпусе 2 помещен чувствительный элемент 1 (в данном случае гибкая мембрана). Под действием давления, поступающего на входной патрубок 6, мембрана 1, а с ней шток 5 перемещаются по вертикальной оси. На шток насажен постоянный магнит 4, который входит в систему магнитомодуляционного преобразующего элемента 3. Выходной сигнал усиливается электронным усилителем.

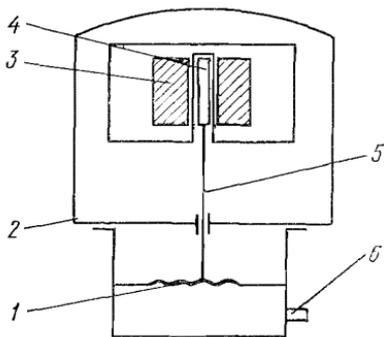


Рис 12 Принципиальная конструктивная схема преобразующего элемента с магнитной компенсацией.

1 — чувствительный элемент, 2 — корпус, 3 — магнитомодуляционный преобразующий элемент, 4 — постоянный магнит, 5 — шток, 6 — входной патрубок

Схема работы магнитомодуляционного преобразующего элемента показана на рис. 13. Он состоит из двух симметрично расположенных неподвижных магнитопроводов 1, подвижного постоянного магнита 3 и индикатора магнитных потоков 2. Магнитный поток магнита 3 замыкается через неподвижный магнитопровод 1. Из-за относительно больших воздушных зазоров часть магнитного потока (поток рассеяния) пронизывает индикатор магнитных потоков 2. Если подвижный магнит находится симметрично полюсам магнитопровода 1, как показано на рис. 13, а, то магнитные потоки рассеяния, в разных направлениях пронизывающие индикатор, равны и результирующая их равна нулю.

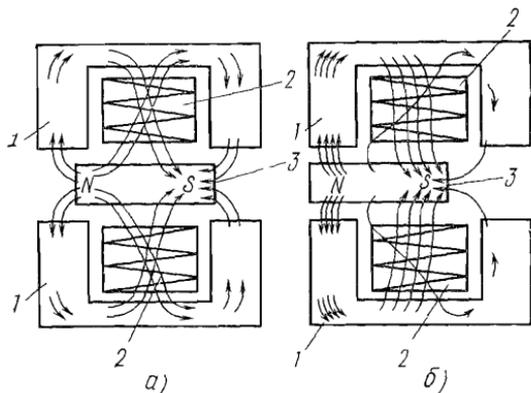


Рис. 13 Схема работы магнитомодуляционного преобразующего элемента

а — симметричное расположение магнитопровода подвижного магнита, б — несимметричное расположение магнитопровода подвижного магнита, 1 — неподвижный магнитопровод, 2 — индикатор, 3 — подвижный магнит

преобразовательного элемента представляют собой плоские спирали, собранные из пластин пермаллоя, разделенных немагнитными прокладками (для обеспечения возможности воздействия внешнего магнитного поля).

На спиральных магнитопроводах 1 (рис. 14) индикатора помещены обмотки возбуждения 3, питаемые напряжением переменного тока, и обмотки обратной связи 2, в которых протекает постоянный ток сигнала обратной связи.

Две обмотки возбуждения и две обмотки обратной связи расположены на разных спиральных магнитопроводах индикатора 2 (см. рис. 13). Благодаря применению двух спиральных магнитопроводов стало возможным встречное включение обмоток возбуждения. Обе обмотки сфазированы так, чтобы в одной из них магнитный поток был направлен в одну сторону с потоком постоянного магнита, а в другой — навстречу.

Магнитные потоки постоянного подвижного магнита Φ_M и обмотки обратной связи Φ_{oc} всегда направлены навстречу друг другу, а переменный магнитный поток Φ_B обмотки возбуждения по отношению к потоку Φ_M — в ту же или противоположную сторону, в зависимости от фазы питающего напряжения.

На рис. 15 показан принцип включения обмоток возбуждения и обратной связи в электрической схеме магнитомодуляционного преобразующего элемента.

Обмотки возбуждения W_B включены в два противоположных плеча измерительного моста. В два других плеча включены балластные резисторы R_1, R_2 . В одну диагональ моста подводится питание, а с другой снимается выходной сигнал.

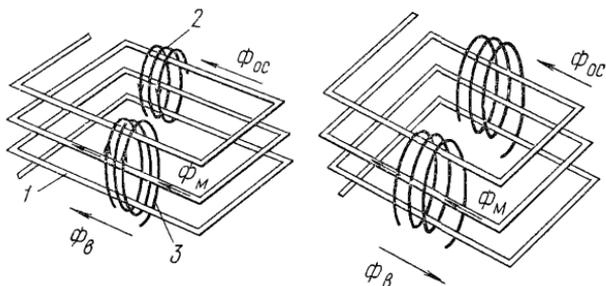
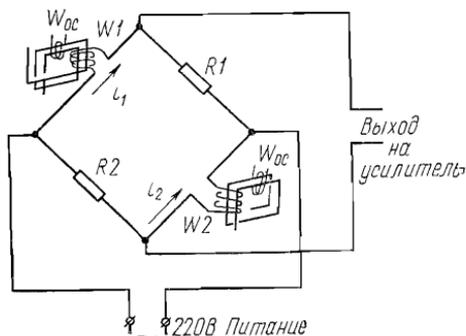


Рис. 14 Спиральный индикатор;

1 — спиральный магнитопровод, 2 — обмотки обратной связи, 3 — обмотки возбуждения, Φ_B — магнитный поток обмотки возбуждения, Φ_M — магнитный поток постоянного магнита, Φ_{oc} — магнитный поток обмотки обратной связи

Рис. 15. Принцип включения обмоток магнитомодуляционного преобразующего элемента.

W_{oc} — обмотки обратной связи, W_1, W_2 — обмотки возбуждения, R_1, R_2 — балластные сопротивления, i_1, i_2 — токи катушек возбуждения



Электрическое равновесие моста описывается равенством произведений сопротивлений противоположных плеч, т. е. когда $W_1 W_2 = R_1 R_2$, ток в лейтрали моста (вход усилителя) не идет (W_1 и W_2 — сопротивления обмоток возбуждения W_B , R_1 и R_2 — сопротивления резисторов).

Работа магнитомодуляционного преобразовательного элемента осуществляется следующим образом. Когда подвижный магнит находится в нейтральном положении, спиральный индикатор не подвергается воздействию постоянного магнитного поля Φ_M , так как результирующий поток рассеяния равен нулю.

При смещении постоянного магнита возникает поток Φ_M . В одном магнитопроводе индикатора он оказывает подмагничивающее

действие, складываясь с потоком обмотки возбуждения, а в другом размагничивает его. Вследствие изменения насыщения спиральных магнитопроводов индикатора изменяется индуктивное сопротивление обмоток возбуждения и возникает разность токов в плечах моста, которая поступает на усилитель, а затем на выход прибора и в обмотку обратной связи.

Электронный усилитель собран на микромодулях и транзисторном каскаде усилителя мощности. Выходным сигналом преобразовательных элементов с магнитной компенсацией является постоянный ток 0—5 мА. Допустимое сопротивление нагрузки вместе с линиями связи до 2,5 кОм. Питание датчиков осуществляется от сети напряжением 220 В, частотой 50 Гц. Потребляемая мощность не более 5 Вт. Температура окружающей среды 0—60° С.

§ 8. Система передачи показаний с пневматическим выходным сигналом

Пневматические приборы входят в общий комплекс унифицированной системы пневматических и электрических взаимозаменяемых датчиков Государственной системы приборов и используются со вторичными приборами, регуляторами и другими устройствами автоматики, машинами централизованного контроля и системами управления, работающими от стандартного пневматического выходного сигнала 0,2—1 кгс/см² (19,6—98 кПа).

Приборы предназначены для непрерывного преобразования в пропорциональный сигнал значения измеряемого технологического параметра.

Принцип действия преобразователей основан на пневматической силовой компенсации. Измеряемый параметр воздействует на чувствительный элемент измерительного блока и преобразуется в усилие, которое автоматически уравновешивается усилием, развиваемым давлением воздуха в сильфоне обратной связи. Это давление является одновременно выходным сигналом преобразователя. Изменение сигнала достигается с помощью индикатора рассогласования, выполненного по системе сопло — заслонка. Принцип работы этой системы основан на изменении давления воздуха перед соплом при перемещении заслонки, прикрывающей сопло. Чем свободнее выход воздуха из сопла, тем меньше давление в камере, из которой подводится воздух к соплу. Поэтому давление воздуха в камере характеризует линейное перемещение заслонки по отношению к соплу.

Принципиальная схема преобразовательного элемента представлена на рис. 16.

Измеряемый технологический параметр преобразуется в пропорциональное усилие P . Усилие передается на рычажный передаточный механизм преобразовательного элемента, состоящий из Т-образного рычага 1 и Г-образного рычага 2. Рычаг 1 перемещает заслонку 5, прикрывая выход воздуха из сопла 6, что приводит к изменению входного давления на пневмоусилитель 7. Усиленный сиг-

При повышении давления в линии сопла нарушается равновесие сил, действующих на мембраны 2 и 6. Под действием возросшего давления мембрана 2 переместится вниз и оттолкнет шариковый клапан от отверстия, увеличив проходное сечение канала. Мембрана 6 под действием возросшего давления пойдет вверх, и шариковый клапан 7 прикроет выход воздуха в атмосферу из верхней камеры А. В результате давление в камерах А и в выходной линии возрастет пропорционально давлению на линии сопла. Так как перепад давления на дросселе 8 остается прежним, увеличение давления в выходной линии не скажется на давлении в камере В. Таким образом, давление в камере В зависит только от взаимного расположения заслонки 5 и сопла 4. Наличие постоянного перепада на дросселе позволяет получить малый расход в линии сопла и уменьшить ход заслонки до 0,01 мм при диаметре дросселя 0,4 и сопла 0,7 мм. При перемещении заслонки в сторону от сопла давление в камере В упадет. Шариковый клапан 1 перекроет канал давления, а шариковый клапан 7 откроет канал сброса, поэтому выходное давление уменьшится.

Применяемые в качестве линий связи пневматические полиэтиленовые трубки имеют наружный диаметр 8 и 10 мм², а толщину стенки 1,6 и 2 мм. Предельное расстояние передачи пневматического сигнала по трассе 300 м.

§ 9. Особенности систем автоматических приборов

Дифференциально-трансформаторная система приборов. Приборы этой системы были внедрены в эксплуатацию раньше других систем. Однако она имеет ряд недостатков, основными из которых являются невозможность размножения сигнала преобразователя, трудность математической обработки сигнала и сложность системы.

Детали приборов дифференциально-трансформаторной системы не были унифицированы и только в настоящее время эта система стала унифицироваться.

В процессе автоматизации производства очень часто возникает необходимость не только контролировать, но и регулировать величину технологического параметра. Иногда контроль величины технологического параметра должен осуществляться в двух местах, например на щите оператора и центральном диспетчерском щите. Поэтому размножение сигнала преобразователя, т. е. возможность использования этого сигнала более чем одним вторичным прибором или регулятором имеет большое значение.

В последнее время система дифференциально-трансформаторных приборов все чаще уступает место другим системам.

Ферродинамическая система. Возможности этой системы значительно шире, чем дифференциально-трансформаторной. С помощью встраиваемых в преобразователи и вторичные приборы этой системы дополнительных преобразовательных элементов сигнал легко размножается. Кроме того, система позволяет легко производить простейшие арифметические действия с сигналами двух или более

преобразователей, что в некоторых случаях представляет определенный интерес.

Дальность действия ферродинамической системы передачи показаний значительно выше, чем дифференциально-трансформаторной системы. Приборы ферродинамической системы отличаются меньшими габаритами, чем приборы дифференциально-трансформаторной системы. Сигнал переменного тока этой системы может быть принят регуляторами других систем.

В ферродинамическую систему входит составной частью частотная система.

Частотная ветвь ферродинамической системы представляет собой приборы, выходом которых является сигнал переменного тока, изменяющийся по частоте от 4 до 8 кГц. Частота меняется за счет изменения натяжения, под воздействием изменения величины измеряемого технологического параметра, металлической струны, колеблющейся в поле постоянного магнитного потока. С изменением частоты колебания струны изменяется частота эдс, наводимой в струне.

Частотный сигнал легко модулируется и кодируется, поэтому эта система чаще всего применяется для передачи по уплотненным каналам связи, т. е. по таким каналам, по которым могут передаваться сразу несколько сигналов.

Система приборов аналогового унифицированного сигнала постоянного тока 0—20 и 0—5 мА. В отличие от ферродинамической системы, где количество вторичных приборов и регуляторов, подключаемых к преобразователю, зависит от количества встроенных в первичный прибор преобразовательных элементов и не может быть больше 2—3, в системе с унифицированным токовым выходом этих приборов может быть значительно больше. При таком включении приемные устройства нескольких вторичных приборов и регуляторов унифицированной токовой системы соединяют в последовательную цепочку и присоединяют к преобразователю. Количество подключаемых приборов определяется сопротивлением внешней цепи преобразователя, которое должно быть не более 2,5 кОм.

Вторичными приборами унифицированной токовой системы могут быть обычные стрелочные миллиамперметры с пределом шкалы 0—5 или 0—20 мА, которые гораздо проще по устройству вторичных приборов других систем.

Математические операции с сигналом постоянного тока легко осуществляются на обычных резисторах или с помощью магнитных усилителей. Например, для того чтобы получить сумму сигналов двух преобразователей стандартного токового сигнала, можно сложить падение напряжения от этих сигналов на соответствующих сопротивлениях.

В тех случаях, когда необходимо иметь отдельные цепи сигналов, суммирование их может быть произведено на магнитном усилителе. Так как магнитные усилители имеют несколько обмоток управления, то в отдельные обмотки управления могут быть направлены сигналы разных преобразователей. Сигнал выхода маг-

нитного усилителя зависит от ампер-витков обмоток управления, поэтому он будет пропорционален сумме токов преобразователей.

Длина линий связи системы достигает нескольких километров, что очень важно для телеизмерения и телеуправления.

В основу приборов унифицированной токовой и ферродинамической систем положен блочно-модульный принцип построения. Это значит, что отдельные узлы аппаратуры унифицированы и взаимозаменяются. Сигналы ферродинамической и токовой систем после соответствующих преобразований могут быть использованы в управляющих вычислительных системах.

Пневматическая система. Преобразователи и усилители этой системы, как правило, меньше тех же приборов электрической системы. Приборы этой системы могут устанавливаться во взрывоопасных помещениях. Однако для использования этой системы необходимо иметь специально очищенный сжатый воздух. Установки приготовления такого воздуха дороги. К недостаткам пневматической системы надо отнести ограничение длины линий связи (не более 300 м).

Контрольные вопросы

1. Каким образом возникает напряжение на вторичных обмотках дифференциально-трансформаторного преобразовательного элемента?
2. Расскажите, как компенсируется сигнал преобразователя в схеме дифференциально-трансформаторной передачи.
3. Как образуется сигнал выхода в ферродинамическом преобразовательном элементе?
4. Расскажите, как компенсируется усилие преобразователя, воздействующего на преобразовательный элемент аналогового сигнала постоянного тока.
5. Для чего нужен фазочувствительный выпрямитель в усилителе УП-20?

Глава III

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Давление характеризуется силой, равномерно распределенной по поверхности. В системе СИ за единицу давления принят паскаль (Па). Паскаль — давление силы в 1 ньютон на площадь в 1 квадратный метр ($\text{Па} = 1 \text{ Н/м}^2$).

В технических измерениях допускается единица давления килограмм-сила на квадратный метр ($\text{кгс} \cdot \text{м}^2$) и внесистемные единицы: килограмм-сила на квадратный сантиметр ($\text{кгс} \cdot \text{см}^2$), которую называют технической атмосферой (ат), миллиметр водяного столба (мм вод. ст.), миллиметр ртутного столба (мм рт. ст.).

Давление в контролируемых точках технологической схемы является весьма важным параметром, знание величины которого необходимо для управления технологическим процессом.

Так, давление пара в барабане котла не только является величиной, по которой контролируют степень безопасности котельного агрегата, но и параметром, по которому ведется процесс регулирования подачи топлива в топку.

Снижение давления в магистрали пара, питающего турбину, приводит к перерасходу пара, а следовательно, к понижению экономичности электростанции. По разрежению в топке регулируют тягу, т. е. производительность дымососа.

Без измерения давления невозможна эксплуатация газотопливного хозяйства, так как контроль давления позволяет предотвратить взрыв газа.

По давлению в напорных патрубках контролируют работу насосных агрегатов. Давление измеряется специальными приборами.

Манометрами называются приборы, измеряющие давление выше атмосферного (избыточное давление).

Вакуумметры — это приборы, измеряющие давление ниже атмосферного.

Напоромеры измеряют низкие величины избыточных давлений, примерно до 2500 мм вод. ст. (25 кПа). *Тягомеры* измеряют малые разрежения до 2500 мм вод. ст. (25 кПа).

Тягонапоромеры и *мановакуумметры* имеют шкалу с нулем посередине. Они могут измерять как давление, так и разрежение.

По принципу действия приборы для измерения давления разделяются на следующие группы:

жидкостные, в которых измеряемое давление уравнивается давлением столба жидкости соответствующей высоты;

пружинные, в которых измеряемое давление уравнивается силой, возникающей за счет деформации различного рода упругих элементов;

грузопоршневые, в которых измеряемое давление уравнивается силой, создаваемой массой поршня и грузов или нагрузкой на поршень, создаваемой жидкостью под давлением.

Пружинные приборы могут быть подразделены на приборы, в которых чувствительным элементом является одновитковая пружина, многовитковая пружина, мембрана и сильфон (гармониковая мембрана).

Поршневые манометры используются в практике измерения очень редко. Они широко употребляются как образцовые приборы для градуировки и поверки приборов, предназначенных для промышленной эксплуатации.

§ 10. Жидкостные манометры

Простой жидкостный манометр представляет собой стеклянную трубку, открытую с обеих сторон и согнутую в виде латинской буквы U. Эту трубку укрепляют вертикально на деревянной или пластмассовой дощечке и по всей ее высоте наносят шкалу в миллиметрах (как на линейке). Шкала должна быть двусторонняя, т. е. нуль шкалы находится на середине высоты трубки, а отсчет идет как вниз, так и вверх. Трубку заливают водой или ртутью так, чтобы уровень установился на отметке «нуль». Так как концы трубки открыты, жидкость в обоих коленах трубки установится на одном уровне. Один из концов трубки с помощью импульсной трубки при-

соединяют к месту отбора давления, например в топочному пространству котла.

Во время работы дымососа из топки отсасываются топочные газы и в топке поддерживается давление ниже атмосферного. Так как на другой конец трубки действует атмосферное давление, уровни в трубке сместятся. В том колене, которое соединено с топкой, столбик жидкости повысится, а в другом — понизится.

Для определения разности уровней необходимо произвести отсчет в одном колене вверх от нуля, в другом — вниз и сложить оба отсчета. Ни в коем случае не следует брать отсчет только по одному колену и удваивать показания, так как почти всегда уровни в обоих коленах будут находиться на разных расстояниях от нуля, потому что в большинстве стеклянных трубок внутренний диаметр неодинаков по всей длине. Небольшое изменение диаметра влечет за собой значительную разность в отсчетах вверх и вниз от нуля.

В практике часто пользуются однотрубными манометрами. В них одно из колен заменено сосудом, площадь которого во много раз больше площади сечения трубки другого колена. В этом случае изменением уровня в сосуде можно пренебречь и отсчет вести только по уровню жидкости в трубке.

U-образный и однотрубный манометры при малых показаниях — 10—15 мм вод. ст. (100—150 Па) не позволяют производить точные отсчеты. Чтобы повысить масштаб показаний в однотрубном манометре, трубку наклоняют под определенным углом. Высота перемещения столба жидкости от этого не меняется, а показания отсчитываются на большей длине, так как гипотенуза прямоугольника l равна противолежащему катету h , деленному на синус угла наклона,

$$l = \frac{h}{\sin \alpha}.$$

На рис. 18 показан промышленный жидкостный тягонапормер ТНЖ.

Затворная жидкость, в данном случае спирт, из стеклянного сосуда 3 большого сечения вытесняется в наклонную трубку 2, вдоль которой расположена отсчетная шкала 1.

Конструкция прибора предусматривает возможность перемещения шкалы 1 относительно трубки 2 для совмещения нулевой отметки шкалы с мениском затворной жидкости, заполняющей сосуд 3 и трубку 2. Тягонапормер снабжен уровнем 5, по которому производится его установка в горизонтальное положение. Подвод импульсов давления производится через штуцеры 8 и 4, из которых штуцер 4 соединен резиновой трубкой с сосудом 3, а штуцер 8 соединен со стеклянной измерительной трубкой.

Измеряемое давление подводится к штуцеру 4, измеряемое разрежение — к штуцеру 8. Винтом 6 в ушке 7 осуществляется установка прибора в горизонтальное положение, так как отсчет зависит от угла наклона прибора. Перемещение шкалы 1 осуществляется головкой 9, расположенной с внешней боковой стороны прибо-

ра. Шкала прибора градуируется в миллиметрах водяного столба и действительна только в том случае, если прибор залит спиртом определенной плотности, указанной в таблице, входящей в документацию на прибор. Если, например, залить в прибор спирт плотностью $\gamma_d = 0,82$, вместо указанного в таблице $\gamma_{гр} = 0,85 \text{ г/см}^3$, то погрешность измерения, в %, будет

$$\Delta = \frac{\gamma_{гр} - \gamma_d}{\gamma_{гр}} 100 = \frac{0,85 - 0,82}{0,85} 100 = 3,75.$$

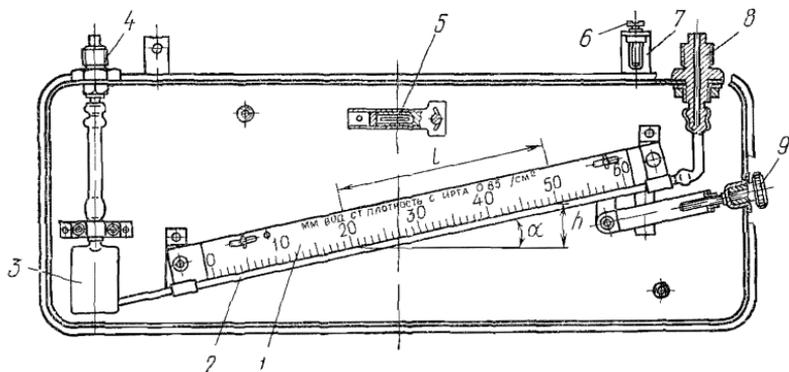


Рис 18 Жидкостный тягонапоромер ТНЖ с наклонной трубкой:
1 — шкала, 2 — наклонная трубка, 3 — сосуд большого сечения, 4, 8 — штуцера давления, 5 — уровень, 6 — винт установки прибора, 7 — ушко, 9 — головка

Отсюда ясно, насколько важно применение жидкости, указанной в паспорте прибора. Если плотность заливаемого в прибор спирта отличается от указанной в паспорте, необходимо вводить в показания прибора поправку

$$K = \frac{\gamma_d}{\gamma_{гр}},$$

где γ_d — действительная плотность заливаемого спирта; $\gamma_{гр}$ — плотность спирта, указанная в паспорте.

Таким образом,

$$h_d = h_n K,$$

где h_1 — действительные значения; h_n — отсчет по наклонной трубке.

§ 11. Пружинные манометры

Пружинные манометры, особенно манометры с трубчатой пружиной, имеют наибольшее распространение в эксплуатации. Эти приборы надежны, просты по устройству, имеют большую, хорошо видимую шкалу.

Пружинные манометры имеют широкий диапазон измерений. Их применяют для измерения давления от десятых долей кгс/см^2 (98 кПа) до тысяч кгс/см^2 .

Приборы рассчитаны для работы при температуре окружающего воздуха от -4 до $+60^{\circ}\text{C}$. Выпускаются манометры класса точности: 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4. Образцовые манометры могут достигать класса точности 0,16. Основная допустимая погрешность определяется для приборов с односторонней шкалой — в процентах от верхнего предела показаний; для приборов с двусторонней шкалой с нулем посередине — в процентах от суммы пределов показаний; для приборов с безнулевой шкалой — от разности пределов показаний.

Таблица 3. Цена деления шкалы в зависимости от класса точности

Верхний предел показаний	Цена деления при классе точности		
	0,5	1,5	5
1	0,005	0,02	0,05
6	0,05	0,1	0,5
25	0,2	0,5	1

Цена деления шкалы прибора зависит от класса точности прибора и верхнего предела измерения.

В качестве примера в табл. 3 приведена цена деления шкалы для манометров с верхним пределом измерения 1; 6 и 25 кгс/см² (98, 590, 2450 кПа) и классом точности 0,5; 1,5 и 5.

Пружинные манометры могут быть показывающими, самопишущими и бесшкальными, имеющими встроенный преобразовательный элемент для дистанционной передачи показаний. Прибор может совмещать в себе все три устройства, т. е. иметь показывающую шкалу, диаграмму, записывающее устройство и встроенный преобразовательный элемент.

Имеются модификации приборов, в которые встроено контактное устройство. Это устройство замыкает контакты в определенных точках шкалы. Таким образом может осуществляться сигнализация на щит диспетчера об отклонении параметра ниже или выше допустимых пределов.

Пружинные манометры с трубчатой пружиной изготовляют в круглом корпусе из стали, чугуна, алюминиевого сплава или пластмассы. Корпус прибора может иметь борт-фланец, где имеются отверстия под болты, с помощью которых прибор крепится к стене. Для приборов, устанавливаемых непосредственно на месте измерения, борт не делается.

Корпус приборов имеет штуцер для подвода давления. Штуцер прибора бывает радиальным или осевым. Радиальный штуцер врежется в обечайку манометра снизу, а осевой — в заднюю стенку прибора.

Для измерения давления кислорода, водорода, ацетилена, аммиака и других веществ применяют манометры специального исполнения. Корпусы этих манометров окрашивают в различные цвета, которые определяются видом газа (табл. 4). В приборах с корпусом из черной пластмассы в указанные цвета окрашивается кольцо, прижимающее стекло прибора.

При монтаже прибора с контактным устройством надо убедиться в том, что прибор ставится в невзрывоопасной среде*.

Некоторые модификации манометров с контактным устройством выполняют во взрывобезопасном исполнении. Тогда на корпусе этих приборов стоит специальное условное обозначение, например

ИЗГ
серный эфир
взрывоопасном помещении типа ИЗГ в среде серного эфира**.

Шкалы манометров с трубчатой пружины имеют равномерные деления. Угол концентрической шкалы 270°. Чтобы пружина не теряла свою форму при длительной работе, рабочий ход свободного конца пружины делается небольшим и приходится применять передаточный механизм с большим повышающим коэффициентом передачи.

Трубчатую пружину манометра изготавливают для приборов малого и среднего давления из латуни, а для приборов высокого давления — более 200 кгс/см² (20 000 кПа) — из стали. Пружина в сечении имеет овальную или эллипсовидную форму. Это и является причиной разгибания трубки. При подводе давления к трубке форма сечения трубки стремится к окружности. Сечение становится более выпуклым, т. е. увеличивается малая ось эллипса. В результате этого в металле возникают напряжения, которые служат причиной выпрямления трубки. У вакуумметров из трубки откачивается воздух, поэтому она еще больше сжимается.

На рис. 19 изображена схема манометра МП4-IV с трубчатой одновитковой пружиной и сигнализирующим устройством.

Измеряемое давление подается во внутреннюю полость трубчатой пружины 3, один конец которой жестко закреплен в держателе 15, а другой свободен. Перемещение свободного конца чувствительного элемента через систему рычагов 17 передается на сектор 16 и трибку 4 с насаженной на ее ось показывающей стрелкой 2. Стрелка перемещается вдоль шкалы 1 и показывает значение измеряемого давления. Вместе со стрелкой перемещается ведущий поводок 14, насаженный на другой конец трибки. Поводок 14 в своем движении перемещает два поводка 5 и 8, связанных между

Таблица 4 Цвета окраски приборов в зависимости от вида газа

Вид газа	Цвет окраски
Водород	Темно-зеленый
Кислород	Голубой
Ацетилен	Белый
Хлор и фосген	Серовато-зеленый
Остальные горючие газы	Красный
Остальные негорючие газы	Черный

* Сооружениями со взрывоопасной средой называются помещения, в которых могут скапливаться газы или пыль в концентрациях, могущих вызвать взрыв.

** Расшифровку обозначений помещений см в «Правилах устройства электроустановок». М., Атомиздат, 1976.

собой гибкой пружиной 13, прижимающей ведомые поводки к поводку 14.

Пределы сигнализации задаются стрелками 10 и 11, которые несут на себе два неподвижных контакта 9 и 12. При увеличении давления пружина 3 распрямляется и трибка 4 поворачивается по часовой стрелке. Поводок 14 уходит от поводков 5 и 8, но под действием пружины 13 поводки 5 и 8 следуют за поводком 14. Когда давление достигнет заданного значения, контактная пара 6—12 или 7—9 замыкается и выдает сигнал в блок-реле.

В корпусе прибора укреплены два реле РЭС-9.

При замыкании контактных пар, а особенно при их размыкании возникает искра в виде электрической дуги, которая приводит к обгоранию, а следовательно, порче контактов. Чем сильнее ток, который должен разомкнуть контакты, тем больше дуга, и чем медленнее расходятся контакты, тем дольше она горит. Поэтому в мало мощных контактных устройствах прибегают к усилению сигнала.

В приборе МП4-IV сигнал мало мощных контактов 6—12 или 7—9 усиливается электронным усилителем, нагрузкой которого являются катушки

реле. Сигнал более мощных контактов реле поступает во внешнюю цепь прибора.

Электрическая схема прибора показана на рис. 20. Она собрана на двух триодах МП-25Б, работающих в режиме ключа. В момент, когда контактные пары $K1$ и $K2$ (штекер Ш1) подвижных и неподвижных контактов манометра разомкнуты, полное напряжение с диодов $D3$ и $D4$ подается на базы триодов ПП1 и ПП2, триоды заперты и ток не пропускают. Реле $P1$ и $P2$ отключены. Размыкающие контакты реле замкнуты. Напряжение питания (разъем Ш2, зажимы 1—2) зажигает лампочку «Норма». При замыкании контакта манометра $K2$ (разъем Ш1) замкнется цепь: плюс диодов $D3$, $D4$, резистор $R3$, диод $D1$, резистор $R8$, контакт $K2$, резисторы $R7$, $R5$, средняя точка трансформатора. Благодаря падению напряжения на резисторе $R3$ положительный потенциал на базе триода ПП1 уменьшится, и пойдет ток по цепи: диоды $D3$, $D4$, резистор $R2$, переход эмиттер — база триода ПП1, резистор $R8$, контакт $K2$, резисторы $R7$, $R5$, средняя точка трансформатора. Триод ПП1 откроется и создается цепь: диоды $D3$, $D4$, резистор $R2$, переход эмиттер — коллектор триода ПП1, катушка реле $P1$. Реле сработает.

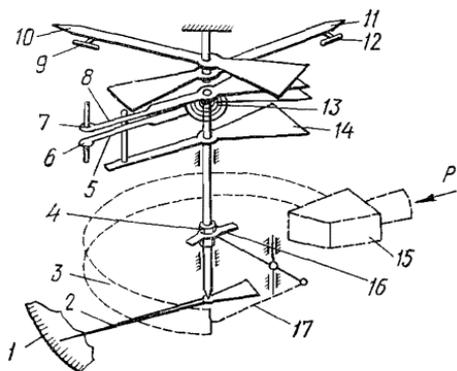


Рис. 19 Схема прибора МП4-IV

1 — шкала, 2 — показывающая стрелка, 3 — трубочатая пружина, 4 — трибка, 5, 8 — поводки, 6, 7 — подвижные контакты, 9, 12 — неподвижные контакты, 10, 11 — задающие контактные стрелки, 13 — пружина, 14 — ведущий поводок, 15 — держатель, 16 — сектор, 17 — система рычагов

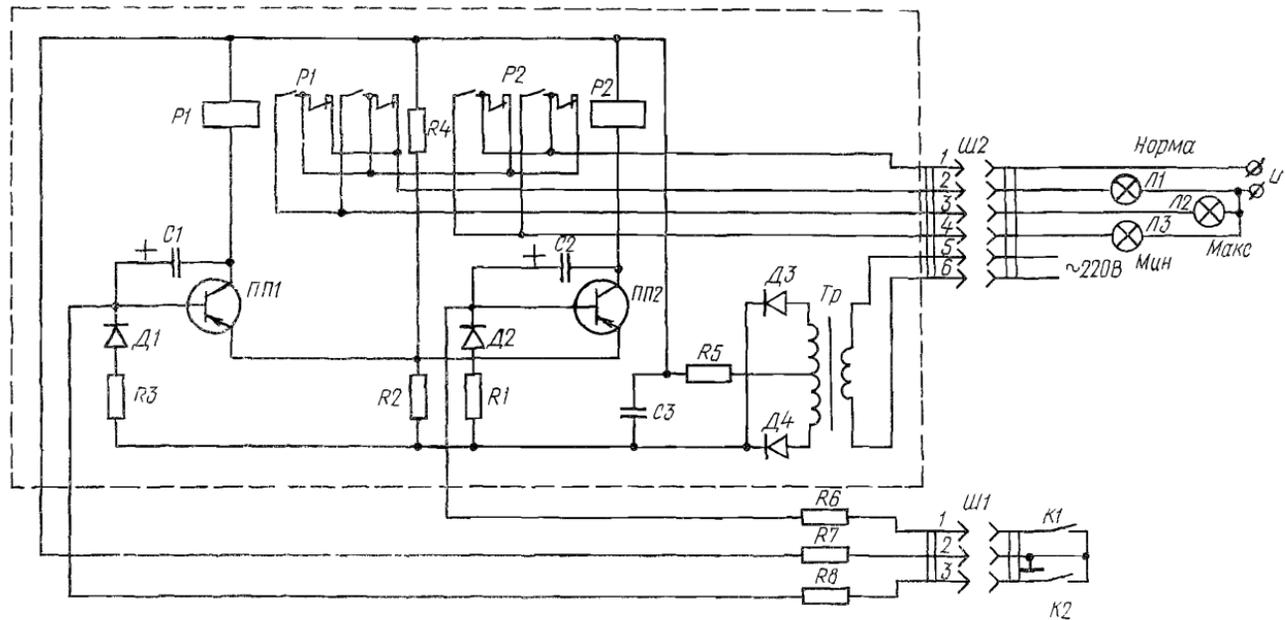


Рис. 20 Электрическая схема манометра МП4-IV

Ш1, Ш2 — штекерные разъемы, Л1—Л3 — сигнальные лампы внешних соединений, ПП1, ПП2 — триоды, К1, К2 — контакты манометра, Тр — трансформатор питания, Д3, Д4 — диоды выпрямления, Д1, Д2 — диоды развязки цепи, Р1, Р2 — реле, Р1—Р8 — резисторы, С1, С2 — конденсаторы

ет, разомкнет размыкающие контакты и замкнет замыкающие. Создается цепь: источник внешнего напряжения, контакт 1 разъема Ш2, размыкающие контакты реле P2, замыкающие контакты реле P1, контакт 3 разъема Ш2, лампа «Максимум», внешний источник.

Так как размыкающие контакты реле P1 разомкнулись, лампа «Норма» погаснет. В случае если замкнутся контакты манометра K1 (разъем Ш1), откроется триод ПП2 и сработает реле P2, тогда зажжется лампа «Минимум» через замыкающие контакты реле P2. Лампы «Норма» и «Максимум» погаснут. Конденсаторы C1 и C2 способствуют пороговому срабатыванию триодов, устраняя постепенное нарастание тока в обмотках реле и ликвидируя тем самым «дребезг» контактов.

Прибор МП4-IV выполняется во взрывобезопасном исполнении. Для обеспечения такого исполнения корпус прибора герметизируют. Зазор между плоскостями прилегания крышки и корпуса должен быть не более 0,2 мм. Это делается для того, чтобы в случае воспламенения газовой смеси внутри прибора искры не попали во внешнюю среду. Поэтому же подвод кабеля внутри прибора осуществляется через специальный штуцер, который имеет сальниковое уплотнение. Класс точности приборов 1,6. Манометры выпускаются с пределами измерений от 0,6 до 1600 кгс/см² (от 59 до 157 000 кПа). Масса прибора около 7 кг.

§ 12. Конструктивные особенности приборов давления с устройством дистанционной передачи показаний

Система приборов с магнитной компенсацией. На рис. 21 представлена принципиальная схема пружинного электрического манометра МПЭ, предназначенного для работы в системах автоматического контроля и регулирования и обеспечивающего непрерывное преобразование избыточного давления жидкостей или газов в пропорциональный электрический унифицированный сигнал 0—5 мА постоянного тока*.

Измеряемое давление преобразуется чувствительным элементом — одновитковой трубчатой пружиной 1 — в перемещение постоянного магнита 2, который создает управляющее воздействие в виде магнитного потока Φ_M .

Этот поток компенсируется магнитным потоком обратной связи Φ_{oc} , возникающим при протекании в обмотках обратной связи W_{oc} выходного сигнала постоянного тока I . При изменении потока Φ_{oc} меняется намагнитченность сердечников магнитомодуляционного преобразователя 3, и в его обмотках W_B возникает сигнал рассогласования. Этот сигнал управляет выходным сигналом I усилитель-

* Описание принципов передачи показаний с помощью преобразовательных элементов с магнитной компенсацией см. § 7.

ного устройства 4, который передается в линию дистанционной передачи и одновременно в обмотку обратной связи. Настройка диапазона прибора осуществляется за счет изменения сопротивления 5, настройка нуля — путем плавного перемещения постоянного магнита 7 с помощью винта 6.

Манометры МПЭ могут применяться в комплекте со вторичными приборами, регуляторами и другими устройствами автоматики, машинами централизованного контроля и системами управления с входными сигналами 0—5 мА постоянного тока.

Усилитель прибора выполнен в виде отдельного блока, который крепится к корпусу прибора с помощью поворотной скобы и может поворачиваться на 90° для обеспечения допуска к узлу трубчатой пружины и магнитомодуляционному преобразовательному элементу. Верхние пределы измерения прибора выбираются от 40 до 600 кгс/см² (от 3920 до 58 800 кПа).

Класс точности прибора 1. Масса 4,5 кг.

Приборы со стандартизованным токовым и пневматическим выходным сигналами. Все преобразователи унифицированной токовой и пневматической системы приборов не имеют показывающей шкалы.

В номенклатуру приборов давления входят приборы, чувствительным элементом которых является и трубчатая пружина, и сильфон. Сильфон представляет собой гофрированную тонкостенную металлическую трубку, открытую с одной стороны. Измеряемое давление может быть подведено как снаружи сильфона, так и изнутри.

На рис. 22 изображен тягомер унифицированной системы с токовым выходным сигналом. Чувствительная часть прибора находится в коробке 3 чувствительного элемента. В коробке 10 находится электросиловой преобразовательный элемент. Давление подводится к штуцеру 9, а от него по трубке 7 передается в сильфон 2. Сильфон укреплен неподвижным концом на основании 4. Подвижный конец сильфона с помощью рычага 1 соединяется с Т-образным рычагом преобразователя (см. рис. 6, гл. II). Под щитком 8 находится коробка зажимов прибора, к которой подсоединяются провода схемы внешних соединений. Прибор устанавливают на вертикальной трубе 5 диаметром 30—50 мм с помощью скобы 6, зажимаемой шпильками.

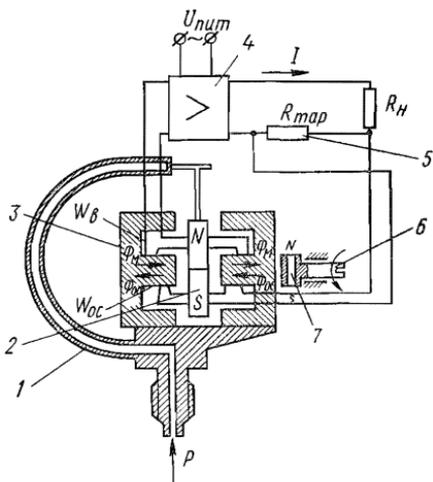


Рис. 21. Принципиальная схема манометра МПЭ:

- 1 — чувствительный элемент (пружина),
- 2 — постоянный магнит, 3 — магнитомодуляционный преобразовательный элемент,
- 4 — усилитель, 5 — подгоночное сопротивление, 6 — винт, 7 — постоянный магнит

Класс точности прибора может быть от 0,6 до 1,5. Имеются узкопредельные манометры с повышенным классом точности (до 0,25). Масса прибора около 7,5 кг.

Тягомеры унифицированной системы с пневматическим выходным сигналом имеют такое же устройство, но вместо электросилового преобразователя в них встроен пневматический.

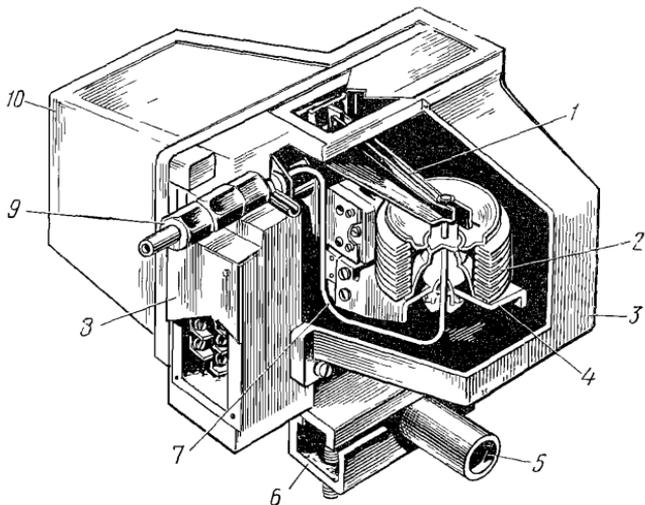


Рис. 22. Тягомер унифицированной системы приборов:
1 — рычаг, 2 — сильфон, 3 — коробка чувствительного элемента,
4 — основание, 5 — труба крепления, 6 — скоба крепления, 7 —
трубка, 8 — щиток коробки зажимов, 9 — штуцер давления,
10 — коробка преобразовательного элемента

§ 13. Эксплуатация приборов давления

Отборные устройства приборов давления надо стремиться устанавливать в местах, где скорость движения измеряемой среды наименьшая, а поток плавный, без завихрений. Это требование объясняется тем, что необходимо обеспечить наименьшее дрожание и пульсирование стрелок показывающих приборов, чтобы облегчить снятие показаний.

Обрез заборной трубки не должен выступать внутрь технологического трубопровода или камеры, в которой измеряется давление, так как выступ будет создавать местные завихрения, что, в свою очередь, может привести к местному уменьшению или увеличению давления, а следовательно, к дополнительной погрешности измерения.

Когда измеряемое давление все-таки сильно пульсирует, для сглаживания колебаний стрелки перед прибором устанавливают трубку с очень малым сечением. В этом случае измеряется не мгновенное значение давления, а среднее.

В месте установки преобразователей отбора давления не должно наблюдаться заметной тряски и вибрации. Особенно это относится

к преобразователям унифицированных систем постоянного и переменного тока. Эти же приборы требуют, чтобы вблизи не было сильных источников внешних магнитных полей, так как это может влиять как на взаимодействие подвижных частей преобразовательного элемента, так и на работу электронных усилителей.

В преобразователях, снабженных электрическими и пневматическими преобразовательными элементами, часто вместо учета давления столба измеряемой среды целесообразней изменить начальное значение выходного сигнала прибора при помощи корректора нуля. Для этого необходимо снять давление измеряемой среды, не опорожня импulsной трубки: перекрыть тройник, ведущий от отбора давления к преобразователю, и открыть кран, соединяющий импulsную линию с атмосферой. После этого корректором установить выходной сигнал прибора, равный нулю.

Для измерения избыточного и вакуумметрического давления агрессивных, горячих, кристаллизирующихся сред, а также сред, выделяющих осадки или несущих взвешенные твердые частицы, применяют жидкостные или мембранные разделители.

Принцип действия комплекта манометра, вакуумметра и мановакуумметра с разделителями состоит в том, что давление передается от измеряемой среды через разделительную стальную мембрану или разделительную жидкость на чувствительный элемент прибора.

Унифицированные преобразователи ГСП при измерении параметров любых сред с минусовой температурой рекомендуется применять в комплекте с мембранными разделителями, так как из-за малого сечения трубки, соединяющей штуцер преобразователя с чувствительным элементом, достаточно небольшого количества высадившегося конденсата, чтобы перекрыть ее.

Контрольные вопросы

1. Чем отличается однотрубный манометр от U-образного?
2. Почему распрямляется пружина манометра под действием давления?
3. В какой цвет окрашивают приборы для измерения давления кислорода и других веществ?
4. Что такое разделительная мембрана?
5. Как сгладить колебания стрелки манометра?
6. Как учесть давление от массы столба измеряемой жидкости?

Глава IV

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

Количество вещества, протекающее по трубопроводу в единицу времени, называется *расходом*, а приборы, измеряющие расход, — *расходомерами*. Количество вещества может измеряться в тоннах, метрах кубических, килограммах, литрах. Время измеряется в часах, минутах и секундах. В технике принято измерять расходы пара и топлива в единицах массы в единицу времени — т/ч, кг/с и

так далее, а расходы газов и жидкостей — в объемных единицах в единицу времени — $\text{м}^3/\text{ч}$, $\text{л}/\text{с}$ и т. д.

Приборы, измеряющие суммарный объем или массу вещества, протекающего по трубопроводу, называются *счетчиками количества*.

Все приборы для измерения расхода и количества могут быть подразделены на следующие группы:

1. Тахометрические счетчики. В основу измерения количества вещества в этих приборах заложен принцип измерения числа оборотов вертушки, крыльчатки и т. д., угловая скорость которых пропорциональна скорости жидкости, протекающей через прибор.

Счетчики изготовляют в основном как приборы местного контроля без устройства передачи показаний на расстояние. Циферблат счетчика находится на корпусе прибора.

Количество протекшей через счетчик жидкости определяется путем снятия разности показаний в начале и конце определенного периода времени. Тахометрические счетчики, как правило, применяются для измерения небольших количеств протекающей жидкости или газа и устанавливаются в основном на трубопроводах до 100—150 мм в диаметре.

Тахометрические счетчики не показывают текущего значения параметра, поэтому они не получили широкого распространения для контроля расходов в теплотехнических процессах.

2. Расходомеры обтекания, или расходомеры постоянного перепада. В этих приборах какое-либо тело, чаще всего поплавков, воспринимает давление среды в вертикальном потоке и перемещается в зависимости от величины расхода.

3. Приборы для измерения расхода по методу переменного перепада давления. Приборы этого типа преобразуют импульс перепада давления протекающей среды через сужающее устройство, установленное в потоке, в показания или сигнал расхода.

4. Индукционные расходомеры. Принцип действия этих приборов основан на измерении электродвижущей силы, образующейся в поперечном сечении потока при протекании электропроводящего жидкого вещества в магнитном поле.

Кроме перечисленных групп существуют приборы, измеряющие расход с помощью мерных объемов, уровня жидкости при истекании ее из калиброванной щели или протекания ее через порог, с помощью смещения ультразвуковых колебаний движущимся потоком и т. д. Но наиболее распространенными приборами являются указанные в первых четырех группах.

§ 14. Расходомеры обтекания

Расходомеры обтекания предназначены для измерений малых расходов протекающей жидкости или газа и редко устанавливаются на трубопроводах диаметром более 70—100 мм.

Одним из самых распространенных расходомеров обтекания является ротаметр (рис. 23). В стеклянную конусную трубку 2 помещен поплавок 1, который свободно плавает в потоке вертикально

проходящей жидкости или газа. Шкала 3 прибора нанесена непосредственно на стеклянной трубке. Под воздействием измеряемой жидкости или газа (направление движения снизу вверх) поплавков поднимается вверх и зазор между поплавком и стенками трубки увеличивается. Это приводит к уменьшению скорости потока в проходном сечении и, следовательно, к уменьшению перепада давления на поплавке. Точка равновесия поплавка соответствует определенной скорости потока, т. е. определенному количеству жидкости или газа, проходящему через ротаметр. Положение верхней грани поплавка указывает по шкале величину расхода.

Прибор может быть использован для измерения расхода лишь того вещества, по которому предварительно была произведена тарировка (градуировка шкалы) прибора. При изменении вещества или параметров измеряемой среды (давления, температуры, вязкости) показания прибора будут не действительны. Поэтому шкалы ротаметров выполняют безразмерными, размеченными на 100 делений.

На заводе ротаметры тарируют по воде или воздуху при температуре 20° С и давлении 760 мм рт. ст. К прибору прилагается аттестат, в котором даны таблицы и график для определения величины расхода в зависимости от показаний по условной шкале.

Корпус 5 ротаметра состоит из двух частей, соединенных между собой стойками 4, и имеет фланцы для установки в трубопроводе.

Детали ротаметров, соприкасающихся с измеряемой средой, выполняют из нержавеющей стали. В отдельных модификациях эти детали выполнены из латуни. Поплавок делается из эбонита, дюралюминия или стали. Основная допустимая погрешность показаний стеклянных ротаметров $\pm 2,5\%$.

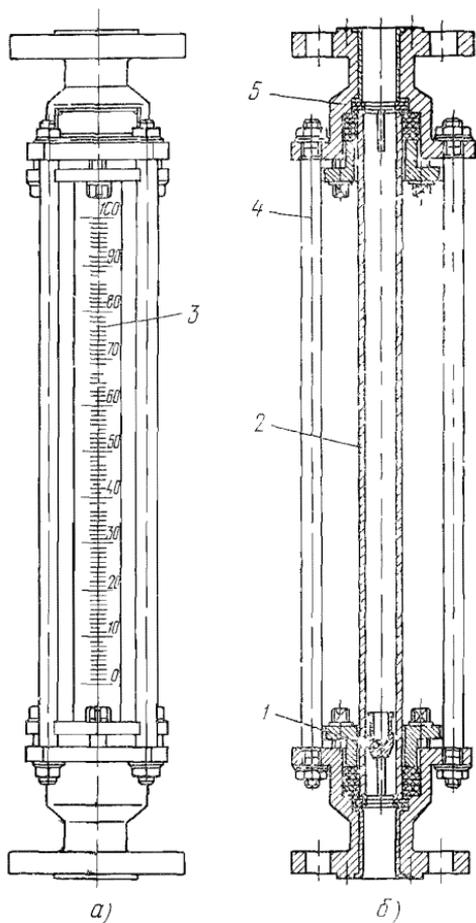


Рис 23. Внешний вид (а) и разрез (б) стеклянного ротаметра:
1 — поплавок, 2 — стеклянная трубка, 3 — шкала, 4 — стойки, 5 — корпус

§ 15. Приборы для измерения расхода методом переменного перепада давления

Наибольшее распространение получили расходомеры переменного перепада. Эти приборы наиболее универсальны и надежны. С помощью этих приборов расходы измеряются на трубопроводах диаметром от 50 до 600 и даже до 1200 мм.

Если в трубопровод установить диск (рис. 24) с проходным диаметром меньше внутреннего диаметра трубопровода, то произойдет следующее. Так как количество жидкости, проходящей по трубопроводу, постоянно во всех его сечениях, то для того чтобы сквозь суженное сечение прошло то же количество жидкости, скорость ее движения в суженном сечении должна возрасти. Увеличение скорости происходит за счет потери части давления, так как поток жидкости или газа, преодолевая сопротивление, расходует на эту работу часть энергии. Поэтому давление после диска будет меньше, чем давление перед диском. Сужение сечения трубопровода называется *дросселированием*, а диск с уменьшенным внутренним диаметром — *диафрагмой*.

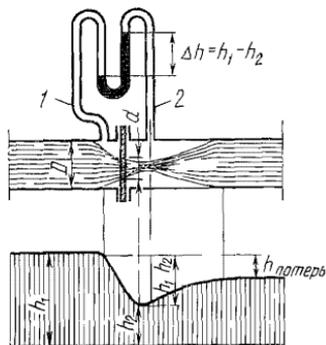


Рис 24 Измерение расхода с помощью сужающего устройства;

1 — трубка для большего давления, 2 — трубка для меньшего давления

Разность давлений перед диафрагмой и после нее $P_1 - P_2$ называется *перепадом давления* и зависит от количества жидкости или газа, протекающего через диафрагму в единицу времени.

Манометры, измеряющие разность давлений, называются *дифференциальными манометрами* или *дифманометрами*. Нельзя путать перепад давления, измеряемый дифманометром, со статическим давлением в трубопроводе. Давление в трубопроводе может быть очень высоким, а перепад давления на дифманометре очень небольшим.

Присоединив U-образный манометр перед диафрагмой и после нее, можно измерить перепад давления и по нему судить о расходе (Разность уровней $h_1 - h_2$ соответствует перепаду давления $P_1 - P_2$)

Расход жидкости или газа в этом случае определяется по формуле

$$Q = hF \sqrt{\frac{\Delta P g}{\gamma}},$$

где Q — расход, м³/с; ΔP — перепад давления, кгс/м²; γ — плотность среды, кг/м³; h — коэффициент, зависящий от диаметров трубопровода и диафрагмы, удельного веса жидкости, заполняющей манометр.

метр, и т. д.; F — сечение диафрагмы, м^2 ; g — ускорение силы тяжести, $\text{м}/\text{с}^2$.

Если перепад давлений в этой формуле будет выражен в паскалях, то в знаменатель под корень надо ввести коэффициент 9,806.

Если все постоянные параметры (h , F , g , γ) для данной точки измерения обозначить буквой K , то

$$Q = K \sqrt{\Delta P}.$$

Из полученной формулы следует, что зависимость между расходом и перепадом давления ΔP нелинейная. Поэтому шкала расходомера будет неравномерной.

§ 16. Сужающие устройства

В качестве сужающих устройств применяются диафрагмы, сопла и трубы Вентури.

Сужающие устройства для измерения расхода делятся на нормализованные и ненормализованные.

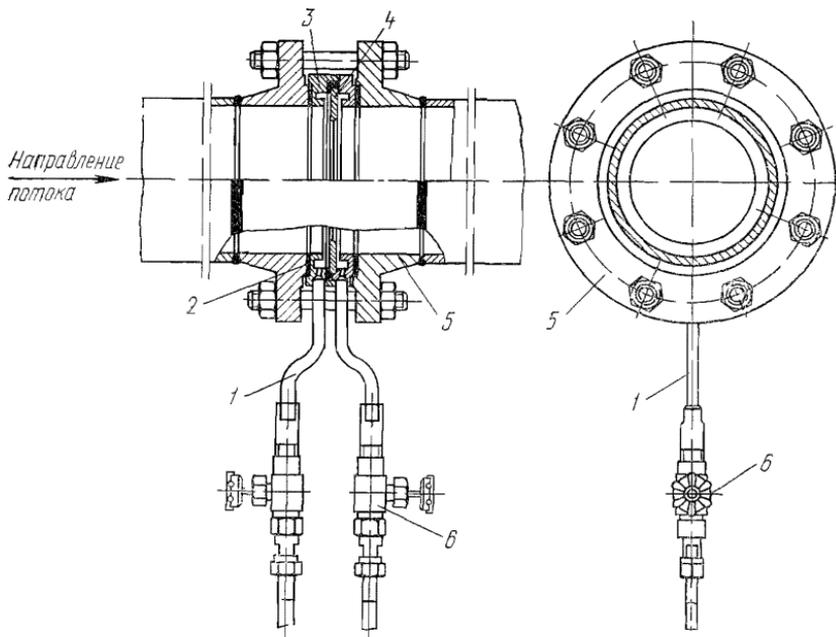


Рис. 25 Установка диафрагмы:

1 — импульсная трубка отбора давления, 2 — прокладки, 3 — камера, 4 — диск диафрагмы, 5 — фланец, 6 — запорный вентиль

Нормализованные устройства это те, которые отвечают специальным правилам, предусматривающим их установку в трубопроводах круглого сечения диаметром не менее 50 мм.

Ненормализованные устройства не могут обеспечить такую же степень точности измерений, как нормализованные устройства, и поэтому являются расходомерами с ненормированными погрешностями измерений.

Эти приборы требуют индивидуальной тарировки и называются *индикаторами расхода*.

В качестве нормализованных диафрагм применяют камерные и бескамерные диафрагмы.

На рис. 25 показана установка диафрагмы для измерения расхода жидкости, установленная на горизонтальном участке трубопровода.

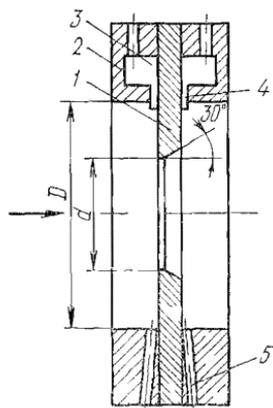


Рис. 26. Устройство камерной и бескамерной диафрагм:

1 — диск диафрагмы, 2 — камера, 3 — кольцевой вырез, 4 — отверстия для отбора давления из внутренней полости трубопровода, 5 — отверстия отбора импульсов в бескамерной диафрагме

Основными частями диафрагмы являются диск 4, камера 3 и прокладки 2. Диск диафрагмы служит для создания сужения в потоке жидкости.

На рис. 26 в верхней половине показаны устройства камерной, а в нижней — бескамерной диафрагмы.

Отбор давлений из камерных диафрагм производят из кольцевого выреза 3, который соединяется с внутренней полостью трубопровода отверстиями 4. Кольцевые камеры служат для выравнивания давления в местах как до, так и после сужающего устройства, что позволяет повысить точность измерений.

Бескамерные дисковые диафрагмы изготовляют для трубопроводов диаметром более 400 мм. В этом случае диафрагмы представляют собой такой же диск, как в камерной диафрагме. Толщина диска для всех диаметров — 6 мм. Диск диафрагмы зажимают между фланцами. Во фланцах высверливают отверстия 5 по направлению радиуса трубопровода для отбора давления до и после диафрагмы.

Диафрагмы могут иметь не одну, а две или четыре пары отверстий для отборов давлений. Это необходимо в том случае, когда от одной диафрагмы работает более одного дифманометра, например один — для передачи показаний на вторичный прибор, а другой — для передачи сигнала на регулятор.

Прокладки между фланцами и диафрагмой делают из паронита. Размер фланцев 5 (см. рис. 25) зависит от давления в трубопроводе. Для высоких давлений применяют утолщенные фланцы. Отводящие импульсные трубки 1 стальные, их изготовляют из бесшовных труб с внутренним диаметром 8—10 мм. На трубках в непосредственной близости от диафрагмы монтируют запорные вентили 6, которые позволяют отсоединить сужающее устройство от соединительных линий для производства ремонта.

§ 17. Дифференциальные манометры

Дифференциальные манометры могут быть подразделены по способу выполнения измерительной части на колокольные, сильфонные, мембранные и поплавковые. Дифманометры бывают показывающими, самопишущими и с интегратором (счетчиком количества протекшей жидкости или газа за время T).

Дифманометр может иметь контактное устройство для регулирования или сигнализации предельных значений расхода измеряемого параметра. В конструкцию дифманометра может входить устройство для коррекции показаний по температуре или давлению, которая необходима при измерении расхода газа и пара.

Дифманометры могут иметь шкалу и быть бесшкальными.

У показывающих дифманометров-расходомеров верхнее значение шкалы, соответствующее предельному перепаду давления, может быть выбрано из ряда чисел 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,25; 4; 5; 6,3; 8, умноженных на десять в степени n , где n — любое целое число (положительное, отрицательное или нуль).

Бесшкальные дифманометры-преобразователи могут быть снабжены преобразовательными элементами дистанционной передачи различных систем: дифференциально-трансформаторной, ферродинамической, пневматической, токовой и т. д.

Дифманометры одного и того же типа различают по верхним пределам измерения перепада давления и допустимому статическому давлению. Шкала дифманометров-расходомеров может быть выполнена в следующих единицах: кг/ч, т/ч, м³/ч, л/ч.

Заводы поставляют заказчику дифманометры-расходомеры в комплекте с диафрагмой. Расчет размеров диафрагмы и выбор соответствующего перепада производят на заводе. Для заказа дифманометра-расходомера в комплекте с сужающим устройством надо заполнить специальный вопросный лист, форма которого унифицирована. В вопросном листе заказчику следует указать тип дифманометра и вторичного прибора (если в нем есть необходимость), состояние вещества, расход которого измеряется, требуемый верхний предел шкалы, единицы измерения, наибольшую допустимую безвозвратную потерю давления от установки сужающего устройства при расходе, равном верхнему пределу шкалы, и ряд других сведений.

Колокольные дифманометры. Принцип работы этих дифманометров основан на изменении глубины погружений колокола в жидкости. На рис. 27 показана принципиальная схема колокольного дифманометра ферродинамической системы.

Чувствительным элементом дифманометра является колокол 1, погруженный в масло таким образом, чтобы под куполом колокола оставался небольшой воздушный объем.

Колокол и измерительный механизм помещены в герметичный корпус 2, закрытый сверху крышкой 8. Плюсовая импульсная трубка давления подводится в пространство над колоколом, а минусовая трубка вводится в объем внутри колокола. Колокол подвешен

к угловому рычагу 10. Если под действием изменения перепада давления изменяется глубина погружения колокола в масло, то он увлекает за собой рычаг 10. Рычаг, поворачиваясь, растягивает пружину 3, которая компенсирует силу тяги колокола. С угловым рычагом 10 жестко связан сектор 11. Сектор сцеплен с шестерней 6. На оси шестерни помещена рамка 7 ферродинамического преобразовательного элемента 5. Угол поворота рамки, а следовательно,

и эдс, наводимая в ней, пропорциональна разности давления, действующей на колокол. Винт 4, растягивающий пружину 3, служит для установки рамки преобразовательного элемента в исходное положение. Провода от датчика выведены на колодку зажимов 9.

Питание ферродинамического преобразовательного элемента осуществляется со стороны вторичного прибора. Узлы измерительной части прибора размещены в бачке 12. Для предохранения их от воздействия газов бачок до краев наполнен трансформаторным маслом.

Прибор снабжен запорными вентилями на трубках отбора давления и уравнительным вентилем. Колокольные приборы ДКОФМ могут работать не только как дифманометры, но и как тягомеры и тягонапоромеры.

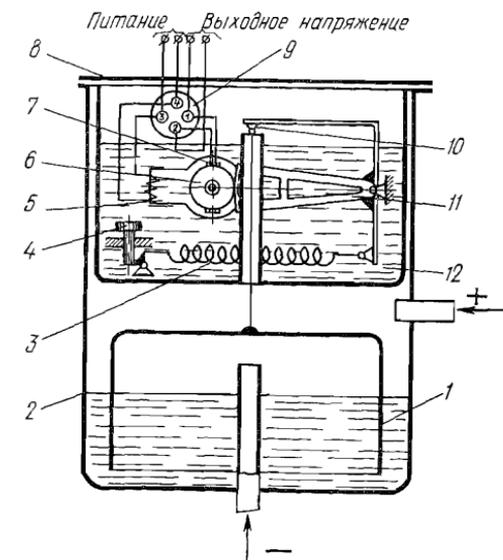


Рис. 27 Принципиальная схема колокольного дифманометра.

1 — колокол, 2 — корпус, 3 — пружина, 4 — корректор нуля (винт), 5 — ферродинамический преобразовательный элемент, 6 — шестерня, 7 — рамка преобразовательного элемента, 8 — крышка корпуса, 9 — колодка зажимов, 10 — рычаг, 11 — сектор, 12 — бачок

Для этого достаточно одну из импульсных трубок соединить с атмосферой. Изменение пределов измерения достигается сменой уравнивающих пружин и колоколов.

Дифманометры ДКОФМ выпускаются на верхние пределы перепадов от 10 до 40 мм вод. ст. Максимально допустимое рабочее давление для дифманометра 0,5 кгс/см². Погрешность по шкале вторичного прибора $\pm 1,5\%$. Масса дифманометра 30 кг.

Сильфонные дифманометры. Они предназначены для измерения расхода по методу переменного перепада, разрежения или напора жидкостей, паров и газов.

Измерительный блок сильфонного дифманометра (рис. 28) состоит из основания 6, на котором расположены два сильфона 1 и 10, жестко связанные между собой штоком 12. Внутренние полости сильфонов заполняют специальной жидкостью для защиты от од-

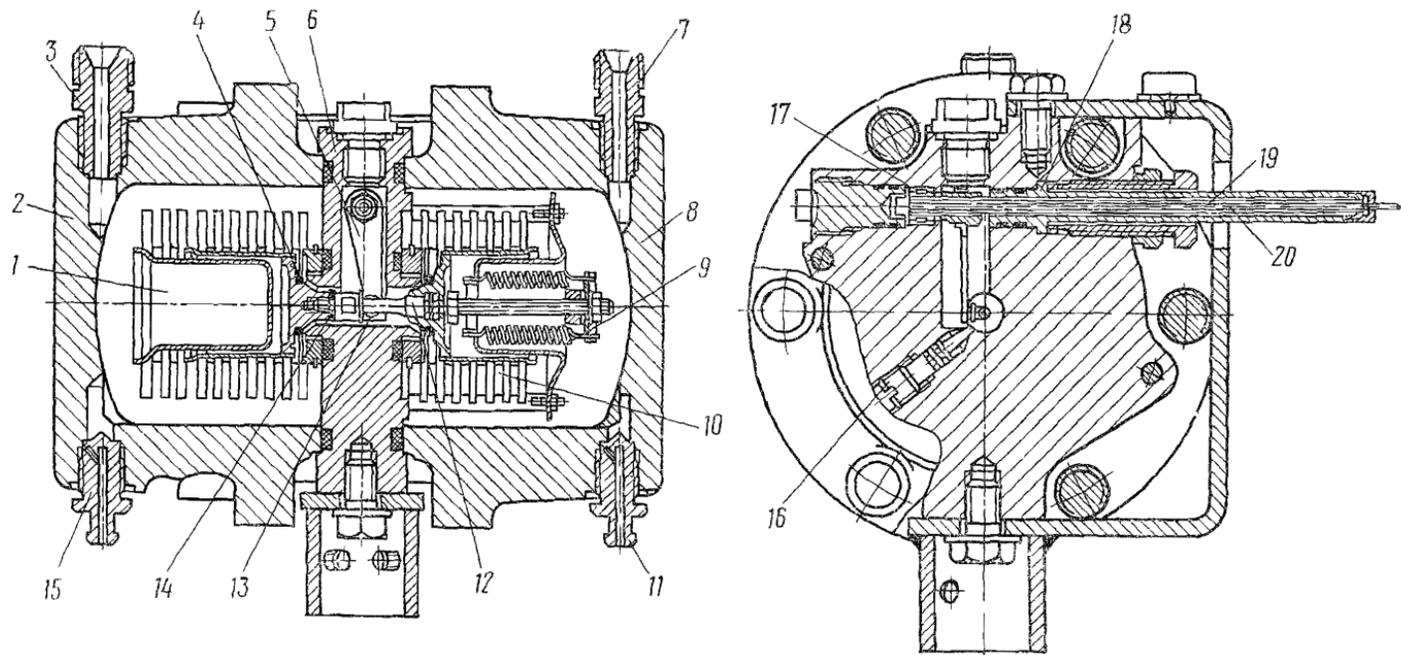


Рис. 28 Измерительный блок сифонного дифманометра

1, 10 — сифоны 2, 8 — крышки, 3 7 11, 15 — штуцера, 4 — резиновое кольцо 5 — рычаг, 6 — основание, 9 — пружины, 12 — шток, 13 — подшипник, 14 — кольцо, 16 — дроссель, 17 — роликовая опора, 18 — горсионный вывод, 19 — горсионная грубка, 20 — ось

носторонней перегрузки и герметично уплотняют. Перемещаясь, сильфоны закручивают торсионную трубку 19 при помощи рычага 5, находящегося в постоянном контакте со штоком 12. Перемещение сильфонов преобразуется в поворот оси 20 торсионного вывода 18. Ось через систему рычагов связана со стрелкой прибора.

Сильфонный блок имеет две полости: к левой, ограниченной крышкой 2, подводится большее давление; к правой, ограниченной крышкой 8, подводится меньшее давление.

Подвод большего (плюсового) давления производится через штуцер 3, а подвод меньшего (минусового) давления — через штуцер 7.

Штуцеры 11 и 15 служат для плавного снятия давления в измерительных полостях, для заполнения системы разделительной жидкостью и для слива промывочной жидкости.

Сильфоны имеют специальные клапанные устройства, состоящие из копуса на доньшке сильфона и уплотняющего резинового кольца 4. При односторонней перегрузке конический клапан сильфона с уплотнительным кольцом садится на конусное седло основания 6.

Оба сильфона имеют по семь рабочих гофр. Сильфон 1, уменьшающий температурную погрешность, возникающую вследствие изменения объема жидкости в зависимости от изменения температуры окружающей среды, имеет температурный компенсатор в виде трех добавочных гофр.

При изменении температуры окружающей среды избыточная жидкость, образующаяся при расширении, перельется в температурный компенсатор.

Под действием перепада давления, подводимого к прибору, сильфон 1 плюсового давления сжимается, жидкость из него перетекает во второй сильфон через зазор между кольцом 14 и основанием.

По требованию заказчика дифманометры поставляют с дросселем 16, который служит демпфером и регулирует скорость перетекания жидкости. Шток 12, жестко соединяющий доньшки сильфонов с помощью рычага 5, находится в постоянном контакте с ним.

Внутренний конец торсионного вывода 18 покоится на роликовой опоре 17. Для уменьшения сил трения контакт рычага со штоком осуществляется через шарикоподшипник 13.

В зависимости от предела измерения в сильфонном блоке устанавливают необходимые диапазонные пружины 9.

Класс точности прибора 1 и 1,5; предельно допустимое рабочее избыточное давление 320 кгс/см^2 (31 400 кПа), масса около 45 кг.

Мембранные дифманометры. На рис. 29 показан мембранный дифманометр-датчик ДМ. Дифманометр является «слепым» прибором и служит для преобразования величины измеряемой разности давления в электрический сигнал дифференциально-трансформаторной системы передачи показаний.

Чувствительным элементом дифманометра является мембранный блок, состоящий из двух мембранных коробок 2 и 4. Мембран-

ные коробки ввернуты с обеих сторон в подушку 3, затянутую между двумя крышками 1 и 6 с помощью болтов 20.

Конструкция образует две камеры — нижнюю, в которую через импульсную трубку 7 подводится плюсовое давление, и верхнюю, к которой подводится минусовое давление через импульсную трубку 15. Внутренние полости верхней и нижней мембранных коробок сообщаются между собой каналом 18. Полости обеих коробок заливают через ниппель 5 дистиллированной водой, после чего ниппель заваривают. Импульсные трубки 7 и 15 снабжены запорными вентилями 10 и 11 и соединены между собой уравнивающей трубкой с вентилем 12.

С центром верхней мембраны связан сердечник 14 трансформатора 8. Сердечник находится внутри трубки 13. Преобразователь закрыт колпаком 9.

Прибор укрепляют на подставке или на полу с помощью болтов, пропущенных через лапки 19. Подсоединение кабеля к прибору производят через штепсельный разъем.

При работе прибора под воздействием плюсового давления нижняя мембранная коробка сжимается и вода вытесняется в верхнюю мембранную коробку, которая расширяется и вызывает перемещение плунжера дифференциально-трансформаторного преобразователя.

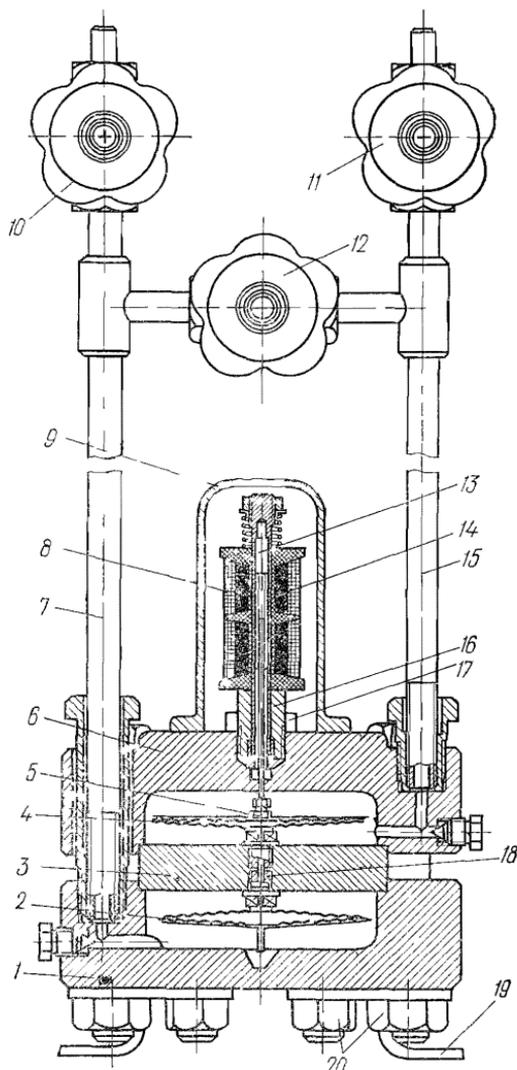


Рис. 29. Мембранный дифманометр ДМ:

1, 6 — крышки, 2, 4 — коробки, 3 — подушка, 5 — ниппель, 7, 15 — импульсные трубки, 8 — дифференциальный трансформатор, 9 — колпак, 10—12 — вентили, 13 — трубка, 14 — сердечник трансформатора, 16 — штуцер регулировки нуля, 17 — контргайка, 18 — канал, 19 — лапки, 20 — болты

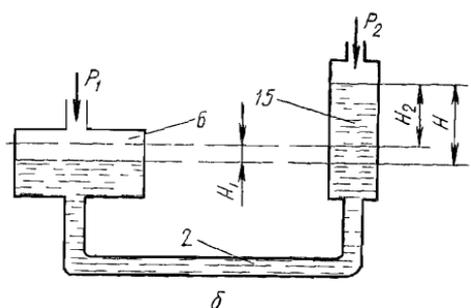
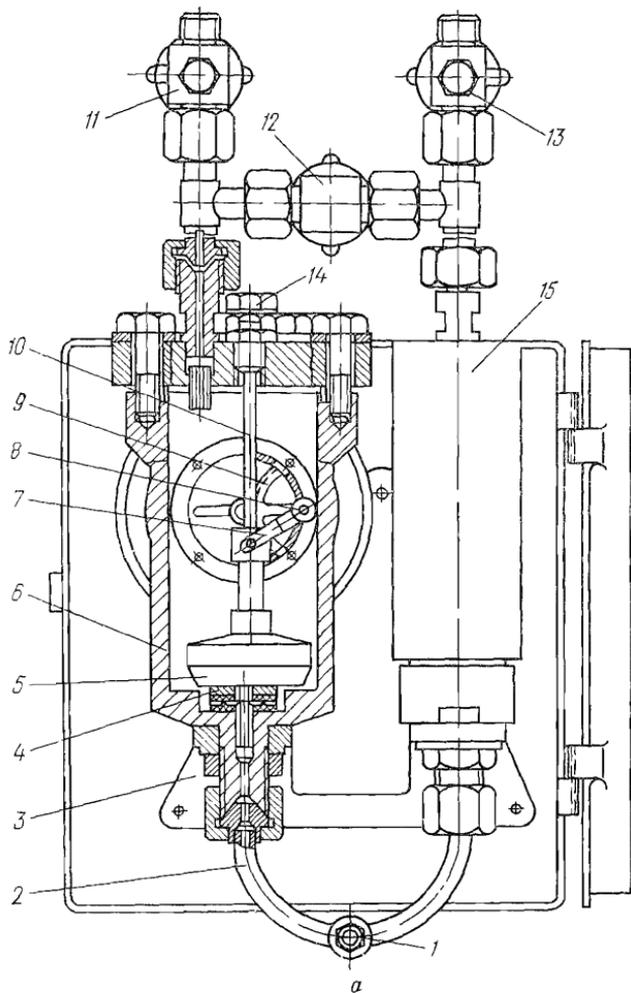


Рис. 30 Конструкция (а) и принцип действия (б) поплавкового дифманометра

1 — сливная пробка, 2 — соединительная трубка, 3 — кронштейн, 4 — предохранительный клапан, 5 — поплавок, 6 — поплавокый сосуд, 7 — рычаг, 8 — ось, 9 — сектор, 10 — арретирный стержень, 11, 13 — запорные вентили, 12 — уравнительный вентиль, 14 — пробка залива ртути, 15 — сменный сосуд

Поплавковые дифманометры. Поплавковые дифманометры являются приборами жидкостного типа и работают по принципу сообщающихся сосудов. Разность давлений, подаваемых в оба сосуда, уравнивается давлением столба ртути и определяется по его высоте.

Два сосуда *6* и *15* (рис. 30, б) соединены между собой трубкой 2 и заполнены ртутью, которая по закону сообщающихся сосудов при одинаковом давлении в обоих сосудах имеет одинаковый уровень.

Если в сосуде *6* будет давление P_1 , а в сосуде *15* давление P_2 (причем $P_1 > P_2$), то уровень ртути в сосуде *6* понизится на величину H_1 , а в сосуде *15* повысится на величину H_2 до установления равновесия.

Из условия равновесия следует

$$P_1 - P_2 = (H_1 + H_2) (\gamma - \gamma_1), \quad (1)$$

где γ — плотность ртути, γ_1 — плотность вещества, находящегося над ртутью.

Обозначив

$$P_1 - P_2 = \Delta P; \quad H_1 + H_2 = H \quad (2)$$

и произведя соответствующую замену в уравнении (1), получим

$$\Delta P = H (\gamma - \gamma_1). \quad (3)$$

При сосудах цилиндрической формы

$$\frac{\pi D_1^2}{4} H_1 = \frac{\pi D_2^2}{4} H_2, \quad (4)$$

где D_1 и D_2 — диаметры сосудов *6* и *15* соответственно.

Определяя из уравнения (4) значение H_2 и подставляя его в уравнение (2), получим

$$H = H_1 \left(1 + \frac{D_1^2}{D_2^2} \right). \quad (5)$$

Подставляя значение H из уравнения (5) в уравнение (3), получим

$$\Delta P = H_1 \left(1 + \frac{D_1^2}{D_2^2} \right) (\gamma - \gamma_1). \quad (6)$$

Для определенного прибора диаметры D_1 и D_2 постоянны. Обозначим

$$1 + \frac{D_1^2}{D_2^2} = K_1.$$

При измерении перепада давления одного определенного вещества разность плотностей ртути и среды над ртутью является постоянной величиной. Обозначим $\gamma - \gamma_1 = K_2$, тогда уравнение (6) примет вид

$$\Delta P = K_1 K_2 H_1,$$

т. е. величина разности давления $\Delta P = P_1 - P_2$ пропорциональна величине понижения уровня ртути H_1 в сосуде *б*.

На этом принципе основано действие всех поплавковых дифференциальных манометров.

Чувствительная часть дифманометра (рис. 30, *а*) состоит из двух герметичных стальных сосудов *б* и *15*, смонтированных на чугунном кронштейне *3* и соединенных между собой трубкой *2* с помощью накидных гаек. К сосуду *б*, он называется поплачковым, подводится плюсовое давление, а к сосуду *15*, он называется сменным, подводится минусовое давление.

В поплачковом сосуде на поверхности ртути плавает стальной поплавок *5*, который перемещается, следуя за изменением уровня ртути. Высота, на которую перемещается поплавок, связана с величиной измеряемого перепада давления. Объем ртути, вытесняемый из поплачкового сосуда в сменный при максимальном перемещении поплавка, остается всегда постоянным, поэтому, изменяя диаметр сменного сосуда, можно изменять чувствительность прибора, а следовательно, и верхний предел измеряемого перепада давлений.

При случайном превышении величины максимального перепада давления (в целях предотвращения вытеснения ртути в трубопровод, подведенный к сменному сосуду) в днище поплачкового сосуда смонтирован предохранительный клапан *4*, который закрывает в этом случае выходное отверстие из поплачкового сосуда в соединительную трубку *2*.

Для заливки ртути в сосуды предусмотрено отверстие, закрываемое пробкой *14*, а для слива — отверстие, закрываемое пробкой *1*.

На линиях подвода давления к сосудам установлены запорные вентили *13* и *11* с устройством для продувки соединительных линий и уравнительный вентиль *12*.

В нерабочем состоянии прибора поплавок *5* арретирован (закреплен) стержнем *10*, ввинченным в пробку *14*. После установки прибора в рабочее положение стержень *10* убирается.

Линейное перемещение поплавка *5* преобразуется в угловое перемещение сектора *9* с помощью рычага *7*, шарнирно связанного как с поплавком, так и с сектором *9* через ось *8*.

Передача движения из полости поплачкового сосуда, находящегося под рабочим давлением, осуществляется при помощи магнитной муфты.

Магнитная муфта состоит из магнитопровода *2* (рис. 31), находящегося в полости рабочего давления, и постоянного магнита *1*, расположенного снаружи, но между концами П-образного магнитопровода, в стакане *5* из немагнитного материала.

Поворот магнитопровода 2, насаженного на ось шестерни 4, пропорционален углу поворота сектора 3 (на рис. 30 он обозначен цифрой 9).

Муфта работает следующим образом. При изменении положения поплавка магнитопровод, приводимый в движение передачей сектор 3 — шестерня 4, поворачивается, смещаясь относительно полюсов постоянного магнита.

Магнит некоторое время находится в состоянии покоя, не следуя за рамкой, в связи с силами инерции частей передающего механизма и силами трения в его сочленениях. При этом возникает угол рассогласования между плоскостями магнитопровода и магнита.

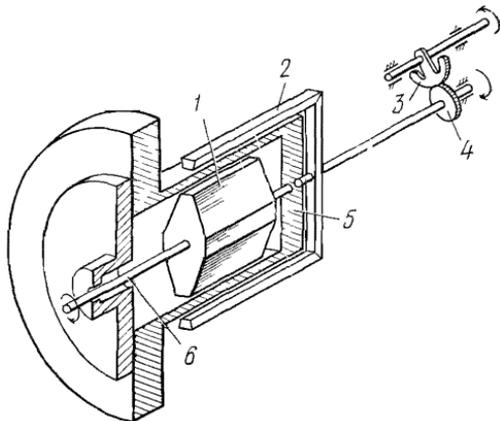


Рис. 31 Схема магнитной муфты:

1 — магнит, 2 — магнитопровод, 3 — сектор, 4 — шестерня, 5 — стакан из немагнитного материала, 6 — ось привода стрелочного механизма

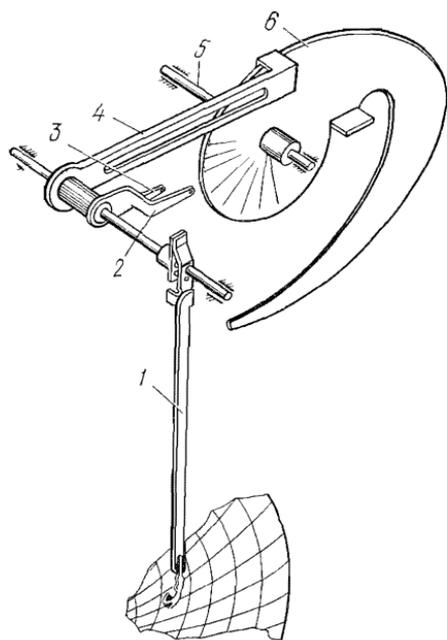


Рис. 32. Схема передающего механизма расходомеров

1 — перо, 2, 8 — рычаги привода стрелки, 4 — щуп, 5 — ось магнитной муфты, 6 — лекало

При некотором критическом значении этого угла момент силы взаимодействия постоянного магнита 1 и магнитопровода 2 окажется больше тормозного момента и магнит повернется на угол, равный углу рассогласования. Магнит 1 сидит на оси 6. На этой же оси (на рис. 32 ось 5) насажено лекало 6. По профилю лекала скользит щуп 4, на ось которого жестко насажено перо 1, записывающее показания на диаграмме. На этой же оси закреплен рычаг 2 для передачи угла поворота щупа трибно-секторному механизму показывающей стрелки прибора.

Приставки приборов с показывающим (самопишущим) механизмом заключены в прямоугольный корпус, который крепится к кронштейну 3 (см. рис. 30). Корпус защищает механизм и дополнительные устройства от повреждений.

Дополнительные устройства дифманометров. Когда в дифманометр встраивается интегратор, схема передающего механизма расходомера несколько другая (рис. 33). Ось магнитной муфты связана с рычагом 11 механизма интегратора. Рычаг поворачивает ось

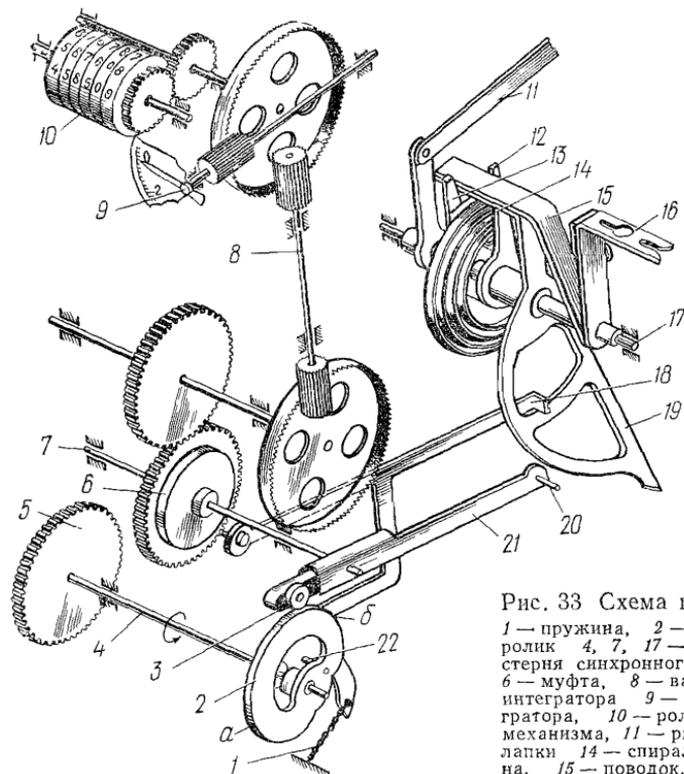


Рис. 33 Схема интегратора
 1 — пружина, 2 — кулачок, 3 — ролик, 4, 7, 17 — оси, 5 — шестерня синхронного двигателя, 6 — муфта, 8 — вал редуктора интегратора, 9 — стрелка интегратора, 10 — ролик счетного механизма, 11 — рычаг, 12, 13 — лапки, 14 — спиральная пружина, 15 — поводок, 16 — рычаг пера, 18 — тормоз, 19 — лекало, 20 — штифт, 21 — качающийся рычаг, 22 — штифт кулачка

17 пропорционально ходу чувствительного элемента прибора. На оси жестко закреплен рычаг 16, передающий движение на записывающее перо прибора и поводок 15. Поводок воздействует на лапки 12 и 13, свободно сидящие на оси 17 и связанные между собой пружиной 14. Под поводком 15 находится поводок лекала 19, тоже свободно сидящего на оси 17. Движение оси с помощью поводка 15 передается на лапки 12 и 13, которые, в свою очередь, могут перемещать поводок лекала 19.

Синхронный двигатель, встроенный в корпус прибора, через шестерню 5 вращает ось 4 против часовой стрелки. На оси сидит кулачок 2. Кулачок передает движение рычагу 21, который качается вокруг оси 7, состоящей из двух полуосей. На одной полуоси

сидит муфта 6, на другой — шестерня, которая через систему зубчатых колес и вал 8 редуктора передает движение на стрелку 9 и ролик 10 счетного механизма. Кулачок 2 штифтом 22 может воздействовать на тормоз 18, фиксирующий лекало 19.

Рассмотрим работу интегратора. Ось 4 вращается с частотой 10 об/мин. Ход кулачка 2 от точки а до точки б соответствует холостому ходу интегратора, а от точки б до точки а — рабочему циклу. Во время хода ролика 3 по кулачку от точки а к точке б конец рычага 21 с роликом 3 идет вверх, а конец рычага со штифтом 20 — вниз. В это же время тормоз 18 под действием пружины 1 оттянут от лекала 19 и оно свободно. Другим своим концом, снабженным штифтом, тормоз 18 стопорит шестерню, сидящую на второй полуоси 7, не давая ей вращаться, тем самым предотвращая обратный ход интегратора. Профиль кулачка 2 выбран так, что после того, как ролик 3 пройдет точку б, он выйдет из зацепления с кулачком. Рычаг 21 начнет приближаться к лекалу 19. В этот момент штифт 22 воздействует на тормоз 18, который прижимает лекало 19, фиксируя его положение и не давая поворачиваться под действием хода чувствительной части прибора. Одновременно другой конец тормоза 18, снабженный штифтом, освобождает шестерню, сидящую на оси 7, и она поворачивается в направлении движения рычага 21, т. е. против часовой стрелки. Движение рычага, а следовательно, и шестерни прекратится, когда штифт 20 коснется лекала 19.

Таким образом, угол поворота механизма интегратора в рабочий цикл зависит от положения лекала 19, положение которого, в свою очередь, соответствует измеряемому перепаду давления. Форма лекала выбирается квадратичной, чтобы счетный механизм учитывал не перепад, а расход. Когда лекало фиксировано тормозом 18, движение оси 17 через поводок 15 передается одной из лапок 12 или 13, которая перемещается в соответствии с меняющимся расходом. После освобождения лекала 19 вторая лапка, подтягиваемая пружиной 14, поставит лекало в положение, соответствующее новому расходу. Когда кулачок 2 повернется так, что точка а надавит на ролик 3, пружина 1 оттянет тормоз и он освободит лекало 19 и застопорит шестерню оси 7. Далее цикл повторяется.

В прибор может быть встроено сигнальное устройство, принцип действия которого основан на свойствах фоторезистора резко уменьшать свое внутреннее сопротивление при воздействии на него источника света.

Фоторезисторы представляют собой непровольочные омические сопротивления, изготовленные из полупроводникового материала, сернистого свинца, сернистого или сelenистого кадмия. Диапазон изменения сопротивления фоторезисторов весьма велик, например сопротивление фоторезистора ФСК-0, устанавливаемого в приборах, при изменении освещенности от 0 до 200 лк изменяется в 100 раз.

На рис. 34 показана кинематическая схема сигнального устройства поплавкового дифманометра.

При изменении измеряемых параметров жидкости, пара или газа происходит перемещение поплавка 1, а значит и стрелки 11 и шторки 10 сигнального устройства, жестко закрепленных на оси 5, относительно фоторезисторов 13, установленных на кронштейнах.

Положение фоторезисторов определяется задающими стрелками 9 с помощью ручек 8, трибок 7 и зубчатых секторов 6 на шкале прибора.

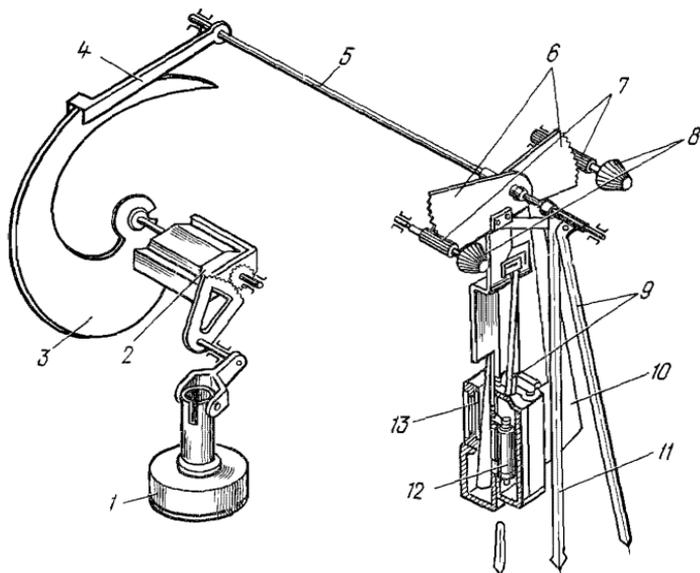


Рис. 34 Кинематическая схема сигнального устройства поплавкового дифманометра

1 — поплавок 2 — магнитная муфта, 3 — лекало 4 — ползун 5 — ось 6 — зубчатые сектора 7 — трибки 8 — ручки 9 — задающие стрелки 10 — шторка 11 — стрелка 12 — лампа осветитель 13 — фоторезисторы

Максимальный и минимальный пределы измерения можно устанавливать на любом участке шкалы. Если параметр находится в установленных пределах, горит лампочка «Норма» желтого цвета. При достижении установленного предела (максимума и минимума) шторка открывает щель в кронштейне, и пучок света, проходящий от лампочки, падает на фоторезистор, сигнал с которого подается в щель управления. При этом на крышке прибора загорается соответствующая сигнальная лампочка «Максимум» красного или «Минимум» зеленого цвета.

§ 18. Индукционные расходомеры

В тех случаях, когда жидкость сильно агрессивна или по каким-либо причинам не допустима установка сужающих устройств, для измерения расхода применяют индукционные расходомеры, кото-

рые выпускают для трубопроводов диаметром условного прохода от 10 до 300 мм и более

Их применяют для измерения объемного расхода невзрывоопасных электропроводящих жидкостей с электропроводностью от 10^{-3} до 10 См/м. Принцип действия расходомеров основан на законе электромагнитной индукции, согласно которому наведенная в проводнике эдс пропорциональна скорости перемещения его в магнитном поле. В индукционном расходомере роль движущегося в магнитном поле проводника играет измеряемая электропроводящая жидкость.

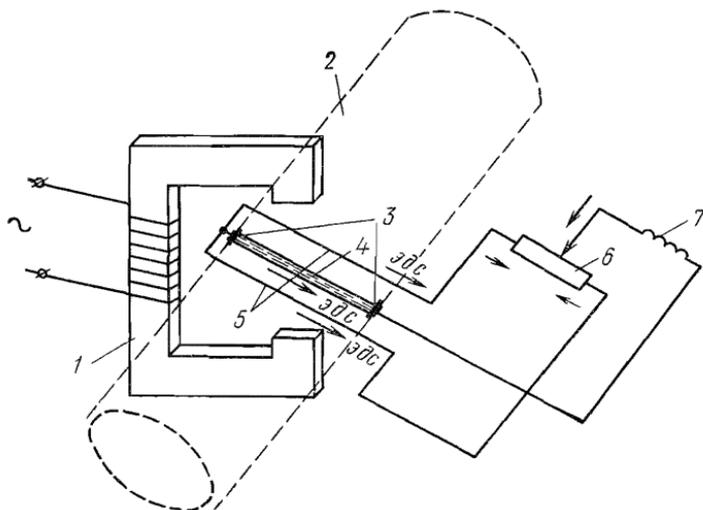


Рис. 35 Принцип действия преобразователя индукционного расходомера

1 — электромагнит, 2 — труба, 3 — электроды, 4 — столбик жидкости, 5 — провода, образующие трансформаторный виток, 6 — резистор с движком, 7 — нагрузка

Расходомер состоит из преобразователя и измерительного блока. Принцип действия преобразователя прибора индукционного расходомера ИР-51 представлен на рис 35

По обмотке электромагнита 1 проходит переменный ток промышленной частоты. В переменное магнитное поле электромагнита помещен отрезок трубы 2. Трубу делают из немагнитного материала, поэтому стенки не являются препятствием для магнитного потока, возбуждаемого электромагнитом. В трубу, в зону максимального магнитного поля, вмонтированы электроды 3 перпендикулярно направлению магнитного потока. Когда по трубе двигается жидкость, то столбик жидкости 4 в своем движении пересекает магнитные силовые линии и в нем, как в рамочке генератора, наводится полезная эдс, пропорциональная средней скорости потока

$$E = Blv,$$

где E — электродвижущая сила; B — индукция в зазоре между полюсами электромагнита; l — расстояние между электродами; v — средняя скорость потока.

Поскольку для данного электромагнита и данного преобразователя все величины постоянны, кроме скорости, то эдс E пропорциональна скорости потока.

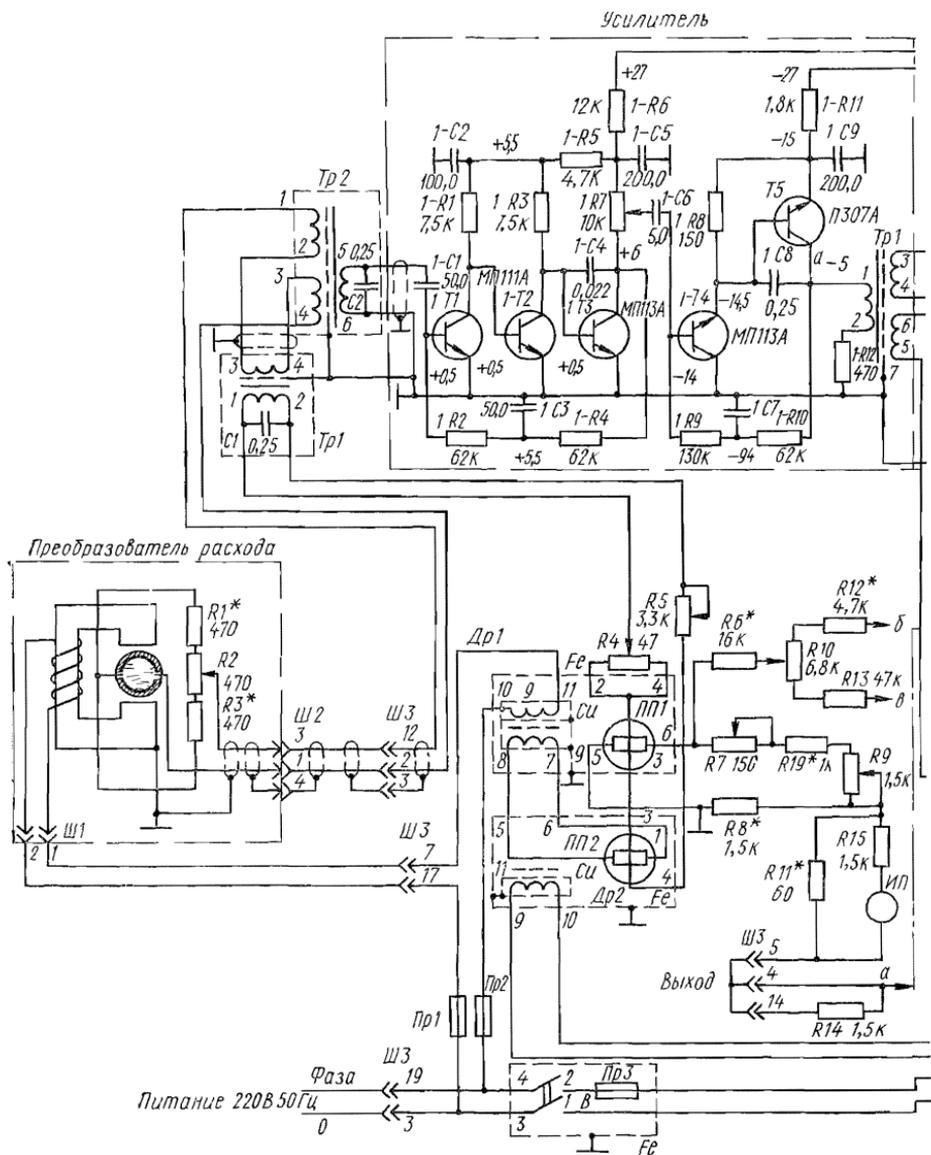


Рис. 36. Принципиальная электрическая

$R1 - R19$ — резисторы, $C1 - C5$ — конденсаторы, $T1 - T3$ — транзисторы, $Д1 - Д12$ — диоды
 $Пр$ — предохранители, $ИП$ — измерительный прибор.

Одновременно в столбике жидкости 4, находящейся между полюсами электромагнита, возникает переменная эдс, как во вторичном витке трансформатора. Трансформаторная эдс смещена по фазе относительно полезного сигнала на 90° . Эта эдс является вредной, она мешает измерению.

Преобразователь устроен так, что в поле магнита находятся

Детектор I (основной канал)

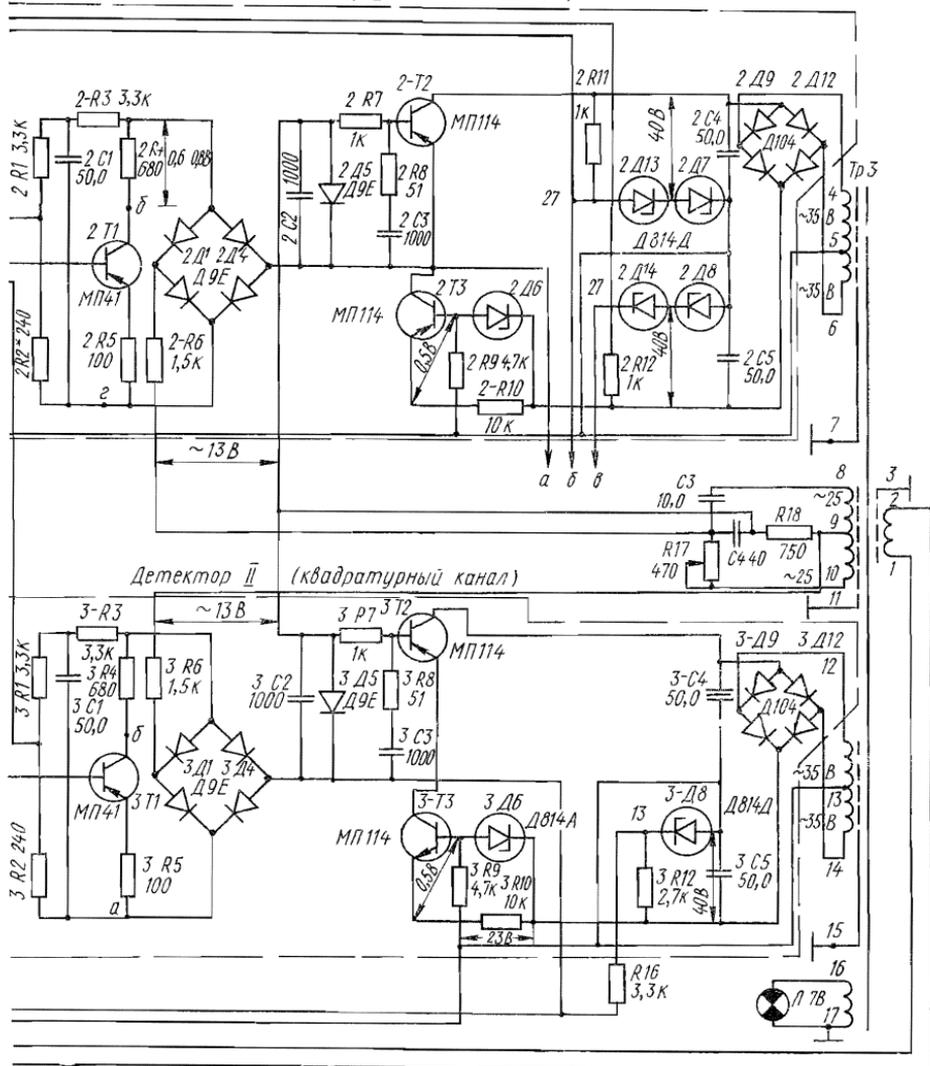


схема расходомера ИР-51:

2-Д6, 2-Д7, 2-Д8, 2-Д14, 3-Д6, 3-Д8 — стабилитроны, Тр — трансформаторы, Др — дроссель, Л — сигнальная лампа, Ш — штекерные разъемы

провода 5, являющиеся трансформаторным витком, присоединенным к одному из электродов, вмонтированных в трубу. В проводах 5, так же как и в столбике жидкости, наводится трансформаторная эдс. Передвигая движок резистора 6, можно добиться такого положения, чтобы в нагрузке 7 трансформаторная эдс равнялась нулю. На рис. 35 стрелками показаны мгновенные значения эдс, возникающей в жидкости и в витке. Так как магнитный поток, пересекающий столбик жидкости, является переменным, то эдс сигнала будет также переменной. Частота эдс сигнала соответствует частоте напряжения сети, а амплитуда пропорциональна скорости потока жидкости. Сигнал преобразователя поступает на входной трансформатор $Tr2$ прибора (рис. 36). Усилитель переменного тока собран на пяти транзисторах с $n-p-n$ -переходом.

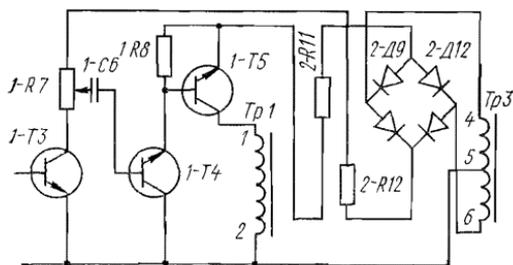


Рис. 37. Упрощенная схема работы усилителя расходомера ИР-51:

R — резисторы, C — конденсатор, T — транзисторы, D — диоды, Tr — трансформаторы

управления база — эмиттер, следовательно, увеличится ток цепи коллектор — эмиттер. Увеличится падение напряжения на резисторе $1-R1$, а следовательно, уменьшится потенциал на базе триода $1-T2$. Как следствие, уменьшится падение напряжения на резисторе $1-R3$, увеличится потенциал на базе триода $1-T3$, увеличится ток нагрузки этого триода и уменьшится ток управления триода $1-T4$. Триоды $1-T4$ и $1-T5$ работают как эмиттерный повторитель, выходной триод которого $1-T5$ нагружен на первичную обмотку трансформатора $Tr1$.

На рис. 37 представлена упрощенная схема работы электронного блока. Пусть сигнал, поступающий на вход первого каскада усиления в такой фазе, что сопротивление перехода коллектор — эмиттер транзистора $1-T3$ по мере повышения мгновенного значения тока в рассматриваемый полупериод уменьшается. Цепь тока: плюс выпрямителя $2-D9 \div 2-D12$, резистор $2-R12$, резистор $1-R7$, переход коллектор — эмиттер $1-T3$, средняя точка трансформатора $Tr3$. Тогда в точке съема сигнала движком переменного резистора $1-R7$ положительный потенциал уменьшается, так как снижается падение напряжения на триоде $1-T3$. Следовательно, растет отрицательное напряжение на базе триода $1-T4$ и его сопротивление коллекторному току возрастет. Цепь тока управления: плюс выпрямителя $2-D9 \div 2-D12$, резистор $2-R12$, резистор $1-R7$, конденсатор $1-C6$, переход база — эмиттер $1-T4$, резистор $1-R8$, резистор $2-R11$, минус выпрямителя $2-D9 \div 2-D12$.

Цепь силового тока: средняя точка $Tr3$, переход коллектор — эмиттер $1-T4$, резистор $1-R8$, резистор $2-R11$, минус выпрямителя

2-Д9÷2-Д12. Выходное сопротивление триода 1-Т4 увеличивается, следовательно, ток управления транзистора 1-Т5 уменьшается, увеличивается сопротивление силовой цепи триода 1-Т5 и уменьшается ток первичной обмотки Тр1.

Когда фаза входного сигнала изменяется, ток в обмотке увеличивается. Таким образом усилитель не только увеличивает сигнал, но и переворачивает его по фазе на 180°. Однако во вторичных обмотках трансформатора Тр1 сигнал соответствует фазе входного сигнала. Провод, присоединенный к средней точке Тр3, является минусовым для первой секции усилителя и плюсовым для второй секции. В нем течет ток, равный разнице токов питания этих двух секций.

На резисторах 1-Р2, 1-Р4 и 1-Р9, 1-Р10 осуществляется обратная связь по каждой секции. Действительно (см. рис. 36), если потенциал на базе 1-Т1 возрастает, то потенциал на коллекторе 1-Т1 падает, что, в свою очередь, через резисторы 1-Р4 и 1-Р2 снижает напряжение на базе 1-Т1. Если потенциал на базе 1-Т4 растет, то на коллекторе 1-Т5 он падает, что через резисторы 1-Р10 и 1-Р9 снижает напряжение на базе 1-Т4.

Конденсаторы 1-С4 и 1-С8 служат для уменьшения полосы пропускания усиливаемых частот, отфильтровывая высшие гармоники. Потенциометр 1-Р7 служит для регулирования коэффициента усиления усилителя во время настройки прибора.

Выходной трансформатор усилителя Тр1 имеет две идентичные вторичные обмотки. С их помощью происходит разделение на основной и квадратурный детекторные каналы. В основном канале подавляется трансформаторная эдс и выделяется полезный сигнал, в квадратурном — выделяется трансформаторная эдс, сдвинутая относительно полезного сигнала на 90° (поэтому этот канал и называется квадратурным).

Рассмотрим работу основного канала, упрощенная схема которого показана на рис. 38.

Условно основной канал можно разбить на три участка.

Участок «а» схемы. В этой части схемы формируется и измеряется полезный сигнал, т. е. сигнал, пропорциональный расходу измеряемой среды. Обмотка 4, 5, 6 трансформатора Тр3 питает выпрямитель 2-Д9÷2-Д12. Ток выпрямителя замыкается через триод 2-Т2. Если триод открыт полностью, то его цепь шунтирует измерительный прибор ИП. Если сопротивление триода будет изменяться, то пропорционально увеличению сопротивления триода часть тока выпрямителя будет проходить через измерительный прибор. Таким образом, влияя на проводимость триода 2-Т2, можно влиять на показания прибора ИП.

Участок «б» схемы. Это участок коммутирующего, управляющего напряжения. Напряжение вырабатывается обмоткой 8, 9, 10 сетевого трансформатора Тр3. Обмотка трансформатора, конденсаторы С3, С4 и резисторы R17, R18 представляют собой фазовращательный мост. Меняя величину активного сопротивления R17, можно поворачивать вектор напряжения в диагонали моста. Мост

регулируется так, чтобы с конденсатора $C4$ поступало напряжение, сдвинутое на 90° и совпадающее по фазе с эдс трансформаторной помехи. Проследим цепь тока, создаваемого этим напряжением.

Пусть в рассматриваемый полупериод на левой по схеме обкладке конденсатора $C4$ будет плюс. Ток с этой обкладки пройдет левый нижний диод выпрямителя $2-D1 \div 2-D4$, триод $2-T1$, правый верхний диод выпрямителя $2-D1 \div 2-D4$, переход эмиттер — база триода $2-T2$ и замкнется на правую по схеме обкладку конденсатора $C4$. Этот ток является управляющим током триода $2-T2$. Чем

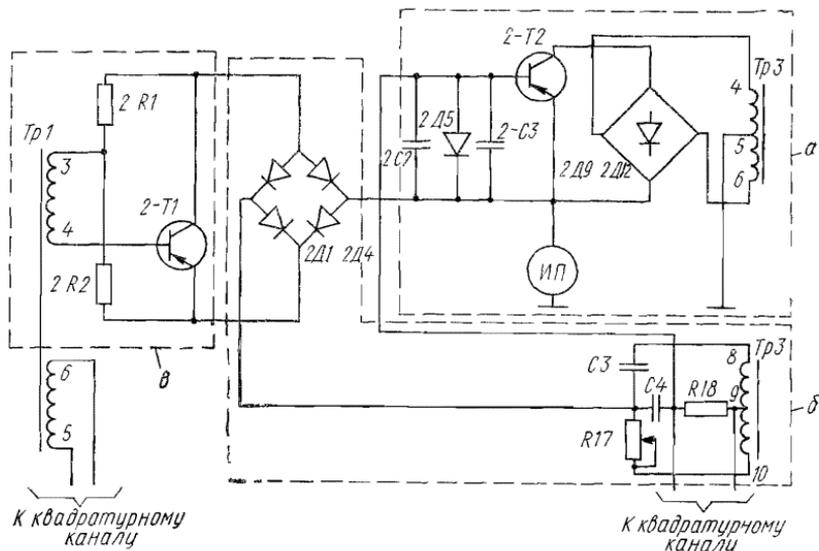


Рис. 38 Упрощенная схема детектора основного канала:

$Tr1$, $Tr3$ — трансформаторы, $2-R1$, $2-R2$, $R17$, $R18$ — резисторы, $2-T1$, $2-T2$ — триоды, $2-D1 \div 2-D4$, $2-D5$, $2-D9 \div 2-D12$ — диоды, $2-C2$, $2-C3$, $C3$, $C4$ — конденсаторы, $ИП$ — измерительный прибор, a , b , $в$ — участки схемы

больше этот ток, тем меньше сопротивление $2-T2$ и тем меньше ток через прибор $ИП$. Величина тока управления, в свою очередь, зависит от проводимости триода $2-T1$. Вместе с тем часть этого тока открывает транзистор $2-T1$, проходя переход эмиттер — база и резистор $2-R1$.

В следующий полупериод, когда плюс на правой обкладке конденсатора $C4$, ток управления не влияет на транзистор $2-T2$, так как замыкается через диод $2-D5$. В этот полупериод транзистор $2-T2$ открыт, так как через его переход эмиттер — база замыкается ток разряда конденсаторов $2-C2$ и $2-C3$, которые зарядились в первый полупериод.

Участок « $в$ » схемы. В него входят вторичная обмотка $3, 4$ трансформатора $Tr1$, в которой действует усиленный сигнал с выхода преобразователя расхода, и транзистор $2-T1$. В цепь тока обмотки $3, 4$ трансформатора $Tr1$ входит переход эмиттер — база $2-T1$, т. е. эта цепь влияет на управляющий ток этого триода. В рассматриваемом

мый полупериод сетевого напряжения, когда плюс на левой обкладке конденсатора $C4$, эдс обмотки $Tr1$ направлена от конца 3 к концу 4 и уменьшает управляющий ток $2-T1$, увеличивая сопротивление триода в цепи коммутирующего тока. И так, сигнал обмотки 3, 4 $Tr1$ меняет проводимость триода $2-T1$, благодаря изменению сопротивления триода $2-T1$ меняется величина управляющего тока триода $2-T2$, что, в свою очередь, изменяет сопротивление триода $2-T2$ в шунтирующей части цепи выпрямителя $2-D9 \div 2-D12$, увеличивая или уменьшая долю тока через измерительный прибор $ИП$.

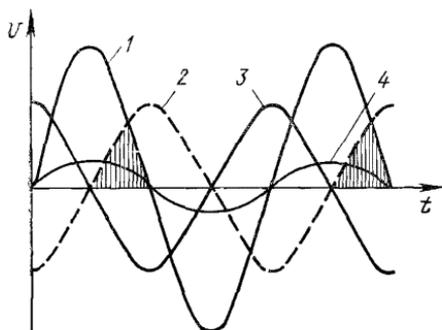


Рис. 39 Временная диаграмма токов: 1 — кривая коммутирующего напряжения, 2 — «опрокинутый» полезный сигнал, 3 — полезный сигнал, 4 — трансформаторная эдс

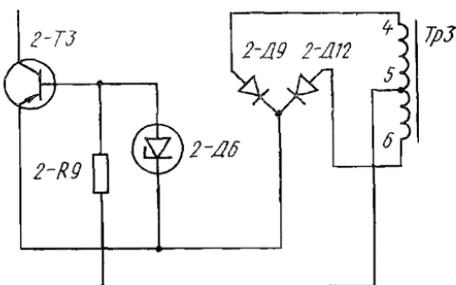


Рис. 40 Сглаживающий фильтр: 2-T3 — триод, 2-R9 — резистор, 2-D6 — стабилитрон, 2-D9 — 2-D12 — диоды, Tr3 — трансформатор

На временной диаграмме (рис. 39) кривой 1 изображена коммутирующая эдс конденсатора $C4$. В фазе с ней находится трансформаторная эдс — кривая 4. Поэтому сигнал трансформаторной эдс должен полностью проходить по шунтирующей цепи, не попадая в измерительный прибор $ИП$. Составляющая полезного сигнала, кривая 3, сдвинута по фазе на 90° от трансформаторной эдс и коммутирующего напряжения. Приведенная диаграмма может быть и диаграммой токов. Ток, изображенный кривой 3, в конечном счете пропорционален полезному сигналу. Если условно повернуть кривую полезного сигнала (кривая 2) на 180° , то разница площадей «рабочего» полупериода коммутирующего тока и тока сигнала расхода будет пропорциональна току, идущему через прибор $ИП$. Чем больше площадь, тем больше будут показания измерительного прибора.

На схеме рис. 36 последовательно с транзистором $2-T2$ цепи выпрямителя $2-D9 \div 2-D12$ включен триод $2-T3$, который является стабилизирующим фильтром выпрямленного напряжения выпрямителя $2-D9 \div 2-D12$. Принцип его работы показан на рис. 40. Управляющий ток этого триода с выпрямителя $2-D9 \div 2-D12$ через переход эмиттер — база и резистор $2-R9$ замыкается на среднюю точку

обмотки 4, 5, 6 трансформатора $Tr3$. Стабилитрон 2-Д6 держит определенное постоянное напряжение на базе триода. При всех колебаниях питающего напряжения 2-Д9÷2-Д12 выше этого стабилизированного напряжения положительный потенциал на базе 2-Т3 растет, что приводит к уменьшению его проводимости в цепи выпрямленного тока.

Схема работы квадратурного канала аналогична схеме работы основного канала со следующими отличиями.

Так как управляющее (коммутирующее) напряжение снимается с активного сопротивления $R18$ (см. рис. 36), то оно сдвинуто по фазе относительно трансформаторной эдс на 90° и, следовательно, в данном случае сигнал трансформаторной эдс должен поступать в цепь измерительного прибора.

В квадратурном канале вместо измерительного прибора установлена обмотка дросселя $Dr2$.

В среднюю точку (см. рис. 36) входного трансформатора $Tr2$ включена вторичная обмотка трансформатора $Tr1$, через которую поступает сигнал отрицательной обратной связи. Таким образом трансформатор $Tr2$ является узлом сравнения.

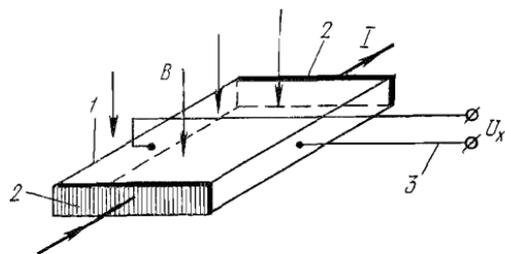


Рис 41. Элемент Холла:

1 — пластина, 2 — металлизированные грани для подвода тока, 3 — выводы для снятия эдс Холла

Результат сравнения усиливается усилителем переменного тока, работа которого разбиралась выше.

Сигнал отрицательной обратной связи формируется на двух элементах Холла $ПП1$ и $ПП2$. Принцип работы элемента Холла показан на рис. 41.

Магнитное поле с индукцией B , пронизывая проводник, через который протекает ток I , механически воздействует на носители тока (электроны или «дырки»), стремясь отклонить их в сторону от направления движения тока. При этом на боковых гранях проводника появляется эдс. Это явление, известное под названием эффекта Холла, нашло широкое применение в технике.

Элемент Холла представляет собой пластину с четырьмя выводами, помещенную в магнитное поле. Величина эдс Холла определяется выражением

$$e_x = K_0 I B K,$$

где I — ток через пластину; B — магнитная индукция, K — коэффициент, учитывающий конструктивные размеры пластины; K_0 — коэффициент Холла, зависящий от подвижности носителей тока и удельного сопротивления материала.

Таким образом, эдс Холла пропорциональна выходному току прибора.

Конструктивно элементы Холла представляют собой пластины толщиной 0,05—0,2 мм, которые наклеены на подложку из слюды, пластмассы, феррита и т. д.

С выхода детектора (см. рис. 36) основного канала пропорциональный расходу постоянный ток (0—5 мА) поступает через внешнюю нагрузку (или перемычку на зажимах 5 и 14 разъема ШЗ), показывающий прибор ИП с шунтом R_{11} и делитель глубины отрицательной обратной связи R_7 , R_8 , R_9 и R_{19} на модулятор основного канала (на элемент Холла ПП1), который расположен в магнитном зазоре дросселя Др1.

Обмотка дросселя Др1 включена последовательно в цепь питания обмотки возбуждения преобразователя расхода.

В результате взаимодействия переменного магнитного поля и постоянного тока, пропорционального расходу, протекающему через токовые контакты 5 и 6 датчика Холла, на контактах напряжения 3 и параллельно соединенных 2 и 4 возникает переменное напряжение частотой 50 Гц, пропорциональное величине магнитного потока и тока.

Модулятор квадратурного канала выполнен на элементе Холла ПП2, помещенного в магнитное поле дросселя Др2. Обмотка дросселя питается постоянным током от детектора квадратурного канала и током смещения рабочей точки от стабилизированного источника через резистор R_{16} .

Токовая цепь датчика Холла ПП2, контакты 5, 6 питаются переменным напряжением со вторичной обмотки трансформатора Тр1.

В результате взаимодействия постоянного магнитного поля и тока частотой 50 Гц на контактах 3 и 4 ПП2 возникает переменное напряжение частотой 50 Гц, пропорциональное величине трансформаторной помехи.

Оба полученные напряжения компенсации сдвинуты относительно друг друга на 90°. Цепь коррекции, состоящая из потенциометра R_{10} , на который подается симметричное относительно общего провода постоянное, стабилизированное напряжение, служит для установки нуля расходомера.

Поскольку измерение расхода жидкости индукционными расходомерами не связано с установкой в трубопроводе дополнительных сопротивлений в виде диафрагм, эти приборы очень удобны при измерении неоднородных жидкостей, т. е. жидкостей с повышенной способностью выпадения осадка, забивания трубопровода и т. п.

Преобразователи индукционных расходомеров ИР-51 выпускают с пределами измерений от 0,32 до 2500 м³/ч. Внутренние полости преобразователя могут быть в зависимости от заказа покрыты резиной, кислотостойкой эмалью, фторопластом. Допустимая температура измеряемой жидкости зависит от внутреннего покрытия преобразователя и может достигать до 150° С.

Масса преобразователя в зависимости от диаметра трубопровода от 16 до 300 кг, масса электронного блока 14 кг.

§ 19. Особенности эксплуатации приборов для измерения расхода

Ротаметры. Правильные показания можно получить от ротаметра только в том случае, если он установлен строго вертикально. В процессе работы ротаметров на внутренних поверхностях, по которым протекает измеряемая жидкость, могут осесть твердые частицы. Это вызывает дополнительную погрешность показаний. Поэтому ротаметр необходимо периодически чистить, промывать и продувать. Время между чистками зависит от особенностей измеряемой среды.

Диафрагмы. Надежность и точность показаний измеряющего расход прибора, соединенного с диафрагмой, в значительной мере зависят от правильного изготовления диафрагмы и особенно от точной и безукоризненной установки ее в трубопроводе.

Измерение расхода с помощью сужающих устройств требует следующих основных условий, определяемых специальными правилами:

а) измеряемое вещество должно заполнять все поперечное сечение трубопровода. Если жидкость трубопровода не заполняет всего сечения, то давление перед диафрагмой может вообще не повыситься;

б) конденсат, выделяющийся при измерении расхода газа (пара), а также газы или осадки, выделяющиеся при измерении расхода жидкости, не должны скапливаться в трубопроводе вблизи сужающего устройства и в соединительных линиях;

в) при измерении расхода вещества, вызывающего засорение сужающего устройства, должна быть обеспечена возможность периодической прочистки (продувки) сужающего устройства;

г) на внутренней поверхности трубопровода на расстоянии двух диаметров трубопровода в обе стороны от сужающего устройства должны отсутствовать уступы и видимые невооруженным глазом грубые наросты и неровности. Наличие таких неровностей приведет к изменению формы струи.

Нормальные диафрагмы можно устанавливать на горизонтальных и вертикальных участках трубопроводов.

Для правильной работы диафрагмы необходим прямой участок трубопровода, чтобы различные искажения потока появляющиеся при его прохождении через закругления, колена, вентили и т. п., могли сгладиться. Длина прямых участков выбирается в соответствии с правилами 28—64 измерения расхода жидкостей, газов и паров стандартными диафрагмами и соплами Государственного комитета стандартов СССР, изданными в 1964 г. в Москве.

Прямые участки должны составлять не менее $6D$ трубопровода до диафрагмы и не менее 5 — после нее. Регулирующие задвижки и вентили можно устанавливать перед сужающим устройством на расстоянии не менее $100D$.

Возмущения потока могут вызывать различные преобразователи, вмонтированные в трубопровод перед сужающим устройством. Диаметр трубопровода на прямом участке не должен изменяться.

Центр устанавливаемой диафрагмы должен точно совпадать с геометрическим центром трубопровода, в противном случае могут возникать ошибки в измерениях, достигающие значительной величины*.

Соединительные линии. Соединительные импульсные линии должны быть проложены по кратчайшему расстоянию вертикально или с уклоном к горизонтали не менее 1 : 10.

Направление уклона при замере расхода газа и воздуха должно идти в сторону сосуда для сбора влаги, выделяющейся из измеряемого агента; при замере пара — в сторону измерительного прибора; при замере расхода воды — от наивысшей точки, в которой должен быть смонтирован тройник с вентилем для выпуска воздуха.

Длина соединительной линии (считая по трассе подводящей трубки от места отбора давления до прибора) должна быть не более 15 м. Допускается длина соединительных линий до 50 м, при этом инерционность показаний прибора увеличивается.

Рекомендуемый внутренний диаметр соединительных линий к дифманометрам 9—10 мм, но не менее 6 мм.

Индукционные расходомеры. Преобразователь расхода может быть смонтирован на горизонтальном, вертикальном или наклонном трубопроводе при условии, что весь объем трубы преобразователя расхода заполнен измеряемой средой.

Преобразователь расхода устанавливают в разрез трубопровода и крепят к нему с помощью фланцев. Длина прямолинейного участка до преобразователя должна быть не менее $5D$ и после преобразователя не менее $3D$.

При возможности выпадения осадка из измеряемой среды преобразователь расхода нужно устанавливать вертикально. В этом случае преобразователь необходимо периодически промывать. Вблизи места установки преобразователя и электронного блока не должно быть устройств, создающих сильные переменные магнитные поля. Во время эксплуатации необходимо периодически проверять нуль расходомера.

Контрольные вопросы

1. Почему всплывает поплавков в стеклянном ротаметре?
2. Чем отличается камерная диафрагма от дисковой?
3. Почему перемещается колокол в колокольном дифманометре?
4. Чем уравнивается перепад давления в поплавковом дифманометре?
5. Что такое арретирование?
6. Как работает магнитная муфта?
7. Что такое интегратор?
8. Что такое эффект Холла?

* Допуск на установку центра диафрагмы составляет от 0,6 до 3 мм в зависимости от диаметра трубопровода.

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Измерение температуры в технологических процессах имеет первостепенное значение.

В процессе ведения и контроля технологического режима котельного агрегата измеряют и контролируют температуру воды, подаваемой в котел, воды до и после экономайзера, мазута, воздуха до и после воздухоподогревателя, перегретого пара, отходящих топочных газов, температуру в топке и температуру ряда других параметров.

Для измерения температуры используется явление изменения физических параметров тел при их нагревании. Изменение объема тела, его линейных размеров или электрических параметров может служить мерой измерения температуры.

Приборы, основанные на этом принципе, подразделяются на:

а) жидкостные стеклянные термометры;

б) стержневые, или дилатометрические, термометры, состоящие из двух стержней разных металлов, величины удлинения которых при одном и том же изменении температуры разные. По разности линейных длин стержней судят о температуре их нагрева;

в) биметаллические термометры, имеющие чувствительные элементы в виде пружин различной формы. Пружины спаивают или сваривают из двух пластин с разным температурным коэффициентом расширения. В результате подогрева такой пружины она изгибается, и по величине изгиба судят об измеряемой температуре;

г) манометрические термометры;

д) термоэлектрические термометры (термопары) — приборы, в которых используется принцип термоэлектрического эффекта;

е) термометры сопротивления, основанные на свойстве металлов и сплавов изменять свое электрическое сопротивление при нагревании;

ж) пирометры излучения. Если тело нагреть до температуры выше 600°C , оно начинает излучать видимые световые лучи. Интенсивность излучения (яркость свечения) зависит от температуры, до которой нагрето тело. Эта зависимость используется для измерения температур пирометрами излучения.

Стержневые и биметаллические термометры обладают очень небольшой степенью точности измерения, поэтому их практическое применение весьма ограничено.

§ 20. Жидкостные стеклянные термометры

Жидкостные термометры представляют собой устройство, в котором расширяющаяся под воздействием тепла жидкость поднимается по капиллярному столбику. По величине подъема жидкости судят о температуре среды, в которую погружен термометр.

Жидкостные термометры отличаются простотой устройства и обслуживания. С их помощью можно измерить температуру от -90 до $+600^{\circ}\text{C}$.

Термометры изготовляют из специальных марок стекла и заполняют различными термометрическими жидкостями. Шкалу термометра чаще всего делают из стекла молочного цвета.

Термометры с пределами измерения от -90 до $+30^{\circ}\text{C}$ заполняют толуолом, от -30 до $+600^{\circ}\text{C}$ — ртутью.

В зависимости от назначения термометры с пределами измерения от -60 до $+200^{\circ}\text{C}$ заполняют толуолом, полиэтилсилоксаном, керосином или другой термометрической органической жидкостью.

Из всех жидкостей лучшей является ртуть, так как она не смачивает стекла, а следовательно, не образует вогнутость в капилляре и поэтому показания ртутного термометра читаются легче.

Цена деления шкалы термометра зависит от диаметра трубки (капилляра) и применяемой термометрической жидкости. Выбор цены деления прибора определяется его назначением.

Пространство в капиллярной трубке над столбиком термометрической жидкости заполняют инертным газом.

Градуйровка термометров производится при погружении в термостат всей нижней части термометра. По заказу потребителя допускается производить градуировку термометра на другую глубину погружения, которая обозначается на обратной стороне шкальной пластины символом и цифрой, показывающей глубину погружения в миллиметрах.

Длина верхней части термометров может быть 240 мм для пределов измерения от -90 до $+600^{\circ}\text{C}$ и 160 мм для пределов измерения от -30 до $+200^{\circ}\text{C}$.

Промышленные термометры могут иметь не только прямолинейную форму. Для удобства монтажа и обслуживания делают термометры, у которых нижняя бесшкальная часть удлинена и изогнута по отношению к шкальной части на 90° .

Так как стеклянные термометры хрупкие, для них делают специальные оправы, представляющие собой стальной или латунный защитный чехол, закрывающий весь термометр, кроме показывающей части. В зависимости от длины погружаемой части и высоты показывающей части термометра оправы имеют различные размеры. Оправы типа А допускают непосредственное соприкосновение резервуара термометра с измеряемой средой и применяются при давлениях, близких к атмосферному. Оправы типа Б изолируют резервуар термометра от непосредственного соприкосновения с измеряемой средой и применяются при давлении до 64 кгс/см^2 (6272 кПа). Оправы типа В изолируют резервуар термометра от непосредственного соприкосновения с измеряемой средой и применяются при давлении до 320 кгс/см^2 ($31\,360\text{ кПа}$).

Промышленность выпускает ртутные стеклянные термометры с сигнализирующим контактным устройством. В этих термометрах в капилляр на определенной отметке, задаваемой при заказе термометра, вплавляют концы платиновой или вольфрамовой проволоочки.

При повышении температуры ртуть подымается до отметки контактирования и замыкает контакты. Пространство над мениском ртути у контактных термометров заполнено сухим водородом.

§ 21. Манометрические термометры

Принцип действия термометра основан на использовании зависимости давления вещества при постоянном объеме от температуры.

Принципиальная схема манометрического термометра приведена на рис. 42.

В средѹ, температура которой измеряется, опускается термобаллон 1, заполненный жидкостью или газовой смесью. Термобаллон

гибким капилляром соединяется с манометрической трубчатой пружиной 2. При изменении температуры контролируемой среды заполнитель термосистемы стремится изменить свой объем, а потому изменяется давление в термосистеме. При увеличении давления манометрическая трубчатая пружина стремится распрямиться (свободный ее конец перемещается направо и вверх) и через систему рычагов, сектор 10 и трибку 3 перемещает показывающую стрелку 5 относительно шкалы 7.

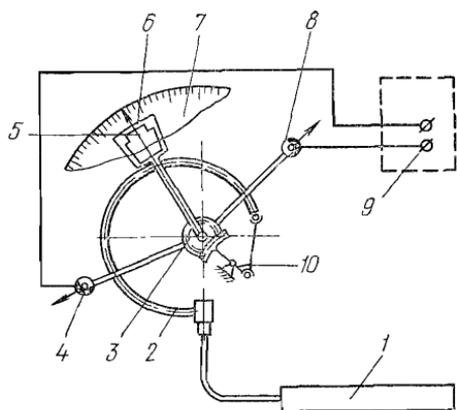


Рис. 42. Принципиальная схема манометрического термометра:

1 — термобаллон, 2 — трубчатая пружина, 3 — трибка, 4, 8 — катушки индуктивности генератора высокой частоты, 5 — показывающая стрелка, 6 — алюминиевый флажок, 7 — шкала, 9 — генератор ВЧ, усилитель и блок-реле, 10 — сектор

Манометрические термометры могут быть с жидкостным, парожидкостным и газовым заполнителем.

У жидкостных манометрических термометров термобаллон, капилляр и пружина заполняются какой-либо жидкостью. Это может быть ртуть, ксилол, метиловый спирт. Так как жидкость, заполняющая термосистему, имеет собственную массу, то при расположении термобаллона выше или ниже пружины может возникнуть дополнительная погрешность, так как на пружину действует гидростатический напор.

В парожидкостных термометрах термобаллон заполняют частично жидкостью, кипящей при низких температурах (метилхлорид, ацетон, эфир и др.), частично парами этой жидкости. Капилляр и пружину заполняют другой жидкостью, которая не испаряется и служит только для передачи давления. Шкала парожидкостного термометра неравномерная, потому что давление паров не прямо пропорционально температуре, и деления шкалы в начале более частые, чем в конце.

В газовых термометрах вся система заполняется инертным газом — азотом или гелием.

Манометрические термометры выпускаются в различных модификациях. Есть самопишущие термометры, бесшкальные термометры-преобразователи с выходным пневматическим сигналом, термометры-преобразователи с унифицированным токовым сигналом, термометры во взрывозащищенном исполнении, термометры с сигнальным (контактным) электрическим устройством.

На рис. 42 изображено устройство бесконтактного сигнального манометрического термометра.

При перемещении показывающей стрелки 5 термометра вместе с ней вращается легкий алюминиевый флажок 6.

В качестве преобразователей электрического сигнала используются две катушки индуктивности, являющиеся элементами схемы генератора высокой частоты.

В зазор одной из этих катушек может входить флажок 6. Одна из катушек 4 выдает сигнал минимального значения, другая 8 — сигнал максимального значения заданного диапазона температуры контролируемой среды. Как только алюминиевый флажок входит в зазор одного из индуктивных преобразователей, сигнал высокой частоты перестает поступать с генератора на последующие каскады усиления и на выходе генератора ВЧ, усилителя и блока-реле 9 появляется электрический сигнал.

Показывающая стрелка и алюминиевый флажок связаны между собой гибким спиральным волоском, являющимся пружиной, прижимающей флажок к упору при движении стрелки за крайними пределами диапазона измерений, и тем самым удерживающим флажок в прорези индуктивного преобразователя (катушки), обеспечивая непрерывную подачу сигнала на выходе блока-реле.

Манометрическими термометрами измеряют температуру от -60 до $+400^{\circ}\text{C}$. Класс точности термометров обычно 1,6 или 2,5.

§ 22. Термоэлектрические термометры

Для измерения высоких температур с дистанционной передачей показаний применяются термоэлектрические термометры, работа которых основана на принципе термоэлектрического эффекта (термопары).

Два проводника из разных материалов (рис. 43) сварены в точках *a* и *б*. В разнородных материалах количество свободных электронов различно, поэтому в точках *a* и *б* будет происходить диффузия электронов из одного проводника в другой. Допустим, что проводник 2 имеет свободных электронов больше, чем проводник 1, тогда потенциал проводника 1 будет выше, чем проводника 2. Количество диффундирующих электронов, а следовательно, и потенциал спая зависят от температуры, до которой нагрет спай. Если температура точки *a* выше температуры точки *б*, то ток потечет в точке *a* от проводника 1 к проводнику 2, а в точке *б* от проводника 2 к проводнику 1. Общая электродвижущая сила, раз-

виваемая в цепи, будет равна разности потенциалов спая a и b :

$$E = \varphi_a - \varphi_b. \quad (7)$$

Термоэлектродвижущей силой (термо-эдс) называется электродвижущая сила, появляющаяся в нагретых до разных температур спаях двух электродов из разнородных материалов. Проводники, из которых собирается термоэлектрический термометр, называются

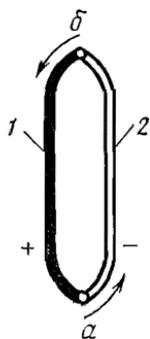


Рис. 43. Схема, поясняющая действие термоэлектрического термометра:

a — рабочий конец (точка нагрева), b — свободный конец; 1 — положительный проводник (термоэлектрод), 2 — отрицательный проводник (термоэлектрод)

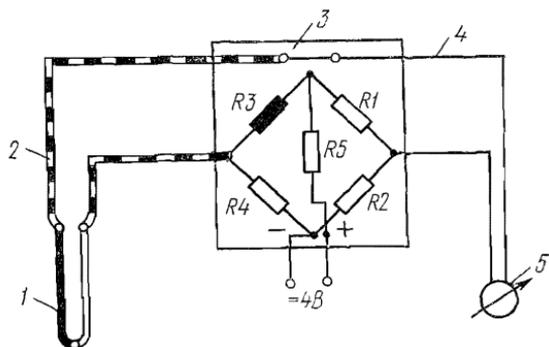


Рис. 44. Схема измерения температуры с помощью термоэлектрического термометра:

1 — термоэлектроды, 2 — компенсационные провода, 3 — коробка свободных концов, 4 — медные провода, 5 — измерительный показывающий прибор

ся *термоэлектродами*. Нагреваемый конец термоэлектрического термометра называется рабочим, а холодный конец — свободным. Если свободный конец термоэлектрического термометра не сваривать, а замкнуть на прибор, могущий измерять напряжение, например милливольтметр, то прибор покажет величину, пропорциональную термо-эдс.

В соответствии с формулой (7) термо-эдс будет тем больше, чем больше разница температур рабочего и свободного конца термоэлектрического термометра. Поэтому свободный конец термоэлектрического термометра стараются вынести как можно дальше от зоны с повышенной температурой.

Так как контакты соединительных проводов с электродами термоэлектрического термометра, находящиеся в зоне повышенной температуры, тоже могут создавать термо-эдс, то в качестве проводов применяют специальные компенсационные провода. Материалы компенсационных проводов и электродов термоэлектриче-

ского термометра подбирают с близкими электрическими свойствами так, чтобы в паре между собой они не развивали термо-эдс. Это свойство должно сохраняться только в пределах возможных изменений температуры свободных концов (обычно от 0 до 100° С).

На рис. 44 показана общая схема измерения температуры с помощью термоэлектрического термометра.

Термоэлектроды 1 термоэлектрического термометра с помощью компенсационных проводов 2 подключаются к коробке свободных концов 3, расположенной в зоне постоянной температуры, а от нее медными проводами 4 присоединяются к милливольтметру 5 (или другому прибору, могущему измерять малые эдс).

Коробка свободных концов ставится в тех случаях, когда соединительные линии от термоэлектрического термометра до милливольтметра по условиям измерений составляют значительную длину. Учитывая, что компенсационные провода имеют повышенную стоимость и сравнительно высокое электрическое сопротивление, их прокладывают только до коробки свободных концов.

Измерительным элементом коробки свободных концов является мостиковая схема, собранная из резисторов $R1 \div R4$ и питающаяся от источника постоянного напряжения 4 В. Резисторы $R1, R2, R4$ имеют постоянное сопротивление. Они сделаны из манганина. Резистор $R3$ — медный, является чувствительным элементом моста, служит для компенсации изменения температуры окружающей среды. При изменении температуры помещения, в котором находится коробка свободных концов, сопротивление резистора $R3$ соответственно изменяет свою величину и в диагонали появляется напряжение. Диагональ моста включена последовательно с термопарой и это напряжение складывается или вычитается с термо-эдс термопары. Таким образом производится компенсация изменения температуры свободных концов.

Термоэлектродвижущую силу термоэлектрических термометров измеряют специальными пирометрическими милливольтметрами или потенциометрами, описание которых дано в гл. VII.

При измерении температуры термоэлектрическими термометрами могут применяться различные схемы соединений. При измерении низких температур, когда термоэлектрический термометр развивает слишком малую термо-эдс, термоэлектрические термометры можно соединить последовательно (положительный электрод последующего термоэлектрического термометра с отрицательным электродом предыдущего), тогда термо-эдс будут складываться аналогично эдс последовательно соединенных батарей. Такое соединение называется *термобатареей*. Если необходимо измерить разницу температур в двух точках, термоэлектрические термометры, помещенные в этих точках, соединяют навстречу друг другу.

Термо-эдс для каждого материала термоэлектродной пары различна и ее зависимость от температуры определяется экспериментально.

Термоэлектрическим термометрам, изготовленным из определенных материалов, присваивают градуировочные обозначения. На

термоэлектрические термометры различных градуировок составлены градуировочные таблицы, содержащие характеристику термоэлектрического термометра из данного материала, т. е. показывающие зависимость термо-эдс от температуры.

Характеристики некоторых типов термоэлектрических термометров представлены на рис. 45.

Платинородий-платиновые термоэлектрические термометры. (Градуировка ПП-1. Характеристика 4, рис. 45.) Электроды термоэлектрического термометра состоят из платины высокой чистоты и

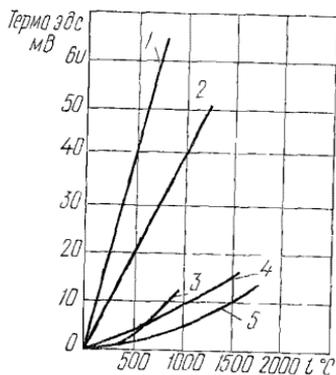


Рис. 45 Характеристики некоторых типов термоэлектрических термометров:

- 1 — хромель — копель, 2 — хромель — алюмель, 3 — сплав НК-СА, 4 — платинородий — платина, 5 — платинородий — платинородий

платины с примесью 10% родия. Материал термоэлектрического термометра определяет его дороговизну. Эти термометры применяют в производственных условиях для измерения высоких температур от 300 до 1300°С и для точных лабораторных и метрологических работ в качестве образцовых термоэлектрических термометров. Допустимый верхний предел измерения 1600°С.

Платинородий - платинородиевые термоэлектрические термометры. (Градуировка ТПР. Характеристика 5, рис. 45.) В этих термоэлектрических термометрах оба электрода содержат некоторое количество родия: в одном электроде 30, в другом 6%. Благодаря этому эти термометры более устойчивы к высокой температуре, чем термометры с электродом из чистой платины.

Они могут длительно измерять температуру до 1600 и 1800°С, а при применении специальных защитных наконечников этими термоэлектрическими термометрами можно измерять и более высокие температуры.

Термо-эдс платинородий-платинородиевых термоэлектрических термометров в диапазоне 0—100°С практически равна нулю, и поэтому они могут применяться без компенсационных проводов.

Хромель-алюмелевые термоэлектрические термометры. (Градуировка ХА. Характеристика 2, рис. 45.) Диаметр электродов от 0,7 до 3,2 мм.

Положительный электрод — хромель (сплав из 89% никеля, 9,8% хрома, 1% железа и 0,2% марганца), отрицательный — алюмель (сплав из 94% никеля, 2% алюминия, 2,5% марганца, 1% кремния с примесью железа, кобальта и хрома).

Хромель-алюмелевые термоэлектрические термометры относятся к наиболее распространенным. Пределы измерения температур этими термометрами от —50 до +1000°С, а при кратковременных измерениях термоэлектрические термометры выдерживают температуру до 1300°С.

Хромель-копелевые термоэлектрические термометры. (Градуировка ХК. Характеристика 1, рис. 45.) Диаметр электродов от 0,7 до 3,2 мм.

Хромель-копелевые термоэлектрические термометры развивают термо-эдс, значительно превышающую термо-эдс других стандартных термоэлектрических термометров. Невысокая жаропрочность электрода и копейла (сплав 56% меди и 44% никеля) ограничивает верхний предел применения термоэлектрических термометров. Диапазон применения хромель-копелевых термоэлектрических термометров от -50 до $+600^{\circ}\text{C}$.

Термоэлектрические термометры из сплава НК-СА. (Градуировка НС. Характеристика 3, рис. 45.)

Характеристика термоэлектрического термометра из сплава НК-СА имеет ярко выраженную кривизну при низких температурах. Это определяет диапазон ее применения от 300 до 1000°C . Так как термо-эдс термоэлектрических термометров в интервале до 200°C близка к нулю, термоэлектрические термометры можно применять без компенсационных проводов.

Форма наружного футляра термоэлектрических термометров и его материал определяются условиями применения и величиной измеряемой температуры.

Наиболее распространены погружные термоэлектрические термометры, т. е. такие, которые измеряют температуру среды методом погружения рабочего спая в самую среду. Кроме того, есть поверхностные термоэлектрические термометры, измеряющие температуру поверхности, термоэлектрические термометры с водяным охлаждением, термоэлектрические термометры карандашного типа и др. У некоторых типов термоэлектрических термометров один из электродов является внешним, он сам служит защитной трубкой. Такие термоэлектрические термометры обладают пониженной тепловой инерцией, т. е. они гораздо быстрее прогреваются при соприкосновении со средой.

На рис. 46 изображена конструкция термоэлектрического термометра погружного типа.

Рабочий спай термоэлектрического термометра погружен в фарфоровый наконечник 2. Электроды термоэлектрического термометра изолированы друг от друга и от корпуса фарфоровыми двухканальными бусами 4. Головка термоэлектрического термометра заключена в корпус 6, в котором смонтирована фарфоровая колодка, 8 — ступер, 9 — крышка, 10 — зажимы

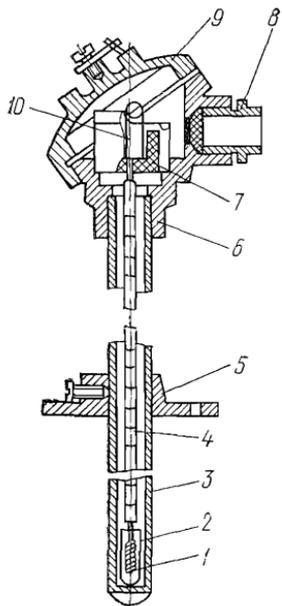


Рис. 46 Термоэлектрический термометр погружного типа.

1 — рабочий спай, 2 — фарфоровый наконечник, 3 — защитная трубка, 4 — фарфоровые бусы, 5 — передвижной фланец для крепления термометра, 6 — корпус головки, 7 — фарфоровая колодка, 8 — ступер, 9 — крышка, 10 — зажимы

7 с зажимами 10. Корпус головки закрывается крышкой 9. Штуцер 8 служит для подвода проводов. Существуют конструкции термоэлектрических термометров без головки. С помощью передвижного фланца 5 можно регулировать глубину погружения рабочей части термоэлектрического термометра в измеряемую среду.

Для защиты термоэлектродов от механических повреждений и непосредственного воздействия вредных газов их помещают в наружную защитную трубку 3.

Для термоэлектрических термометров из неблагородных металлов (хромель — алюмель, хромель — копель, сплав НК-СА) защитную трубку делают из обычной или нержавеющей стали, для термоэлектрических термометров из благородных металлов (платинородий — платина, платинородий — платинородий) — из фарфора, окиси алюминия или кварца.

При температурах до 1000°С применяют кварцевые трубки. Эти трубки легко переносят резкие колебания температуры: трубка, нагретая до 1000°С и опущенная в холодную воду, не растрескивается. Выше 1000°С кварцевые трубки становятся газопроницаемыми. При длительном нагревании до 1050—1100°С кварцевая трубка меняет свою внутреннюю структуру — становится крупнокристаллической и легко ломается. Поэтому при температурах выше 1000°С применяют фарфоровые защитные трубки. Для придания трубкам газонепроницаемости их покрывают слоем глазури, представляющей собой сплавленную стекловидную массу. Однако фарфоровые трубки плохо переносят резкую смену температур. Поэтому надо соблюдать осторожность при погружении и выводе термоэлектрического термометра из измеряемой среды.

Термоэлектрические термометры являются достаточно точным устройством для измерения температур. Отклонение термо-эдс (погрешность) термоэлектрических термометров из стандартных термоэлектродных материалов от значений, приведенных в градуировочных таблицах для нижнего предела измерений (до 300°С), составляет от $\pm 0,01$ мВ для термоэлектрических термометров платинородий — платина до $\pm 0,2$ мВ для термоэлектрических термометров хромель — копель. Для верхних пределов измерений (свыше 300°С) погрешность хромель-алюмелевого термоэлектрического термометра составляет не более $\pm 0,3$ мВ. Для остальных термоэлектрических термометров погрешность еще меньше.

§ 23. Термометры сопротивления

Электрическое сопротивление тел изменяется с изменением их температур. Эта особенность позволила создать устройства, называемые термометрами сопротивления. Чувствительным элементом термометра является тонкая металлическая проволока. Проволоку наматывают на каркас и заключают в защитную арматуру. Изменяя электрическое сопротивление такой проволоки, можно судить о температуре, до которой она нагрета.

В измерительную установку входят: сам термометр сопротивления, соединительные провода и показывающий прибор, предназначенный для измерения величины электрического сопротивления. Показывающими приборами могут быть логометры и мосты, описание которых приведено в гл. VII. С помощью термометров сопротивления можно измерять температуру от -200 до $+650^{\circ}\text{C}$.

Термометры сопротивления более подходящи для измерения невысоких температур, чем термоэлектрические термометры, так как термоэлектрические термометры при температурах менее 300°C имеют повышенную погрешность.

К достоинствам термометров сопротивления относятся: возможность дистанционной передачи показаний и измерения температуры одним показывающим прибором от нескольких термометров сопротивления с помощью специальных переключателей.

Недостатками термометров сопротивления по сравнению с термоэлектрическими термометрами являются более сложное устройство и большая инерционность.

Промышленность выпускает два вида термометров сопротивления, различающихся по материалу рабочей проволоки, — платиновые и медные. Каждому из них присвоены свои градуировки.

Платиновые термометры ТСП разделяются на три градуировки — 20, 21, 22. Термометры градуировки 20 имеют сопротивление при 0°C , равное 10 Ом; сопротивление термометров градуировки 21 при 0°C — 46 Ом; сопротивление термометров градуировки 22 при 0°C — 100 Ом. Медные термометры сопротивления ТСМ имеют две градуировки — 23 и 24. Термометры градуировки 23 при 0°C имеют сопротивление 53 Ом; термометры градуировки 24 при 0°C — 100 Ом. Зависимость сопротивления платиновых и медных термометров от температуры близка к линейной и представлена в табл. 5.

Таблица 5. Зависимость сопротивления термометров от температуры (Ом)

Температура, $^{\circ}\text{C}$	Т С П			Т С М		Температура, $^{\circ}\text{C}$	Т С П		
	Градуировка						Градуировка		
	21	20	22	23	24		21	20	22
-200	7,95	1,73	17,28	—	—	200	81,43	17,7	177,03
-100	27,44	5,96	59,65	—	—	300	98,34	21,38	213,79
0	46,00	10,0	100,0	53,0	100,0	400	114,72	24,94	249,38
100	63,99	13,91	139,10	75,58	142,60	500	130,50	28,38	283,80
150	76,24	—	—	86,79	—	600	—	31,71	317,06

Платиновые термометры сопротивления. Платина — лучший материал для изготовления термометров сопротивления. Она химически инертна и обладает удовлетворительной прочностью.

Чувствительный элемент платинового термометра представляет собой платиновую проволоку диаметром 0,07 мм. Сложенная вдвое

проволока бифилярно наматывается на слюдяную пластину. Тогда ток по рядом лежащим виткам проводника течет в разные стороны и магнитные поля витков уничтожают друг друга. Этим достигается снижение индуктивного сопротивления обмотки.

Обмотку изолируют от корпуса слюдяными пластинами. К каждому концу платиновой проволоки припаивают выводы из серебряных концов диаметром 1 мм, которые изолируют фарфоровыми бусами.

Чувствительный элемент заключен в защитную алюминиевую трубку. Для улучшения теплообмена в нижнюю часть помещен массивный алюминиевый вкладыш.

У термометров сопротивления, предназначенных для измерения низких температур, трубку заливают парафином.

Медные термометры сопротивления. Чувствительный элемент медных термометров сопротивления делают из эмалированной медной проволоки диаметром 0,1 мм. Так как медь имеет меньшее удельное сопротивление по сравнению с платиной (платина $0,0981 \cdot 10^{-6}$ Ом·м, медь $0,018 \cdot 10^{-6}$ Ом·м), медной проволоки требуется значительно больше, чтобы получить одно и то же начальное сопротивление. Поэтому медную проволоку наматывают на пластмассовый стержень, покрытый несколькими слоями лака.

Выводы делают также из медной проволоки диаметром 1,0—1,5 мм и изолируют один от другого и защитной арматуры асбестовым шнуром, пропитанным лаком, а верхние их части заключают в керамические трубки.

Медные термометры сопротивления применяют для измерения температуры от -50 до $+150^\circ\text{C}$.

Термометры сопротивления защищают специальными чехлами, изготовленными из материала, имеющего высокую теплопроводность и высокую механическую прочность. Защитная арматура может иметь такую же головку, как для термоэлектрических термометров. Как медные, так и платиновые термометры сопротивления выпускаются с различной глубиной погружения. Так как рабочей частью термометров сопротивления является вся намотанная проволока, необходимо, чтобы она вся прогревалась одинаково. Поэтому термометр должен быть опущен в измеряемую среду всей погружаемой частью от конца защитного кожуха до нижних витков резьбы головки.

Термисторы. Полупроводниковые термометры сопротивления. Кроме металлических термометров сопротивления, выпускаются термометры, изготовленные из полупроводниковых материалов, получившие название термисторов. Преимущество полупроводниковых термометров сопротивления: большое номинальное сопротивление, малые габариты и большой отрицательный температурный коэффициент сопротивления, т. е. сопротивление их быстро растет с понижением температуры.

Температурный коэффициент электрического сопротивления у термисторов достигает 3% на 1°C и более, в то время как для большинства металлов эта величина не превышает 0,4—0,6% на

1° С. Верхний температурный предел применения термисторов 120—180° С. Однако для термисторов характерны нестабильность характеристик и меньшая точность.

§ 24. Пирометры излучения

Для измерения теплового состояния тел, нагретых до высоких температур бесконтактным методом, служат пирометры излучения.

Принцип их работы основан на улавливании лучистой энергии нагретого тела с помощью оптической системы. Разные тела по-разному излучают и поглощают тепловую энергию. Одни — большую часть попадающей на них тепловой энергии поглощают, а меньшую — отражают, другие — наоборот. Поэтому, для того чтобы можно было сравнивать по улавливаемому потоку тепловой энергии нагретость тела, пользуются понятием «абсолютно черного тела».

Абсолютно черное тело — это тело, которое поглощает все падающие на него лучи и излучает максимум энергии при данной температуре.

Различные тела и материалы характеризуются коэффициентом черноты полного или частичного излучения. *Частичным (монохроматическим) излучением* тела называется излучение на какой-нибудь одной волне спектра. Для измерений чаще всего пользуются красной полосой спектра.

В табл. 6 приведены коэффициенты черноты для некоторых материалов. Коэффициент черноты зависит от свойств тела, состояния его поверхности и температуры.

Таблица 6. Коэффициенты черноты

Материал	Температура, °С	Коэффициент черноты полного излучения	Коэффициент черноты частичного излучения
Сталь углеродистая окисленная	200—600	0,79	—
Сталь малоуглеродистая окисленная	500	0,84	—
Медь окисленная	200—1000	0,60	0,11
Алюминий окисленный	200	0,11	0,3
Железо неокисленное твердое	1300	—	0,39
Кирпич шамотный	1000	0,75	0,7—0,8
Железо неокисленное жидкое	—	—	0,36—0,4

Пирометры излучения делятся на пирометры полного излучения — радиационные и пирометры частичного излучения — оптические.

Пирометры полного излучения улавливают и измеряют излучение всех полос спектра.

Для абсолютно черного тела зависимость между суммарной энергией излучения (по всем длинам волн спектра) тела и его температурой выражается уравнением

$$E_r = \sigma T^4,$$

где E_r — полная энергия, излучаемая абсолютно черным телом при температуре T за 1 с единицы площади поверхности, см²; σ — постоянная, равная $5,75 \cdot 10^{-12}$ Вт·см⁻²град⁻⁴.

Истинная температура реального тела

$$T = T_{\pi} \sqrt[4]{\frac{1}{\epsilon_r}},$$

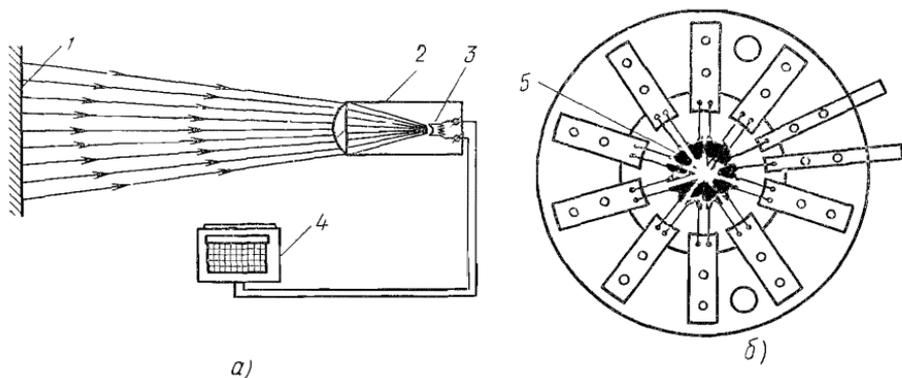


Рис. 47 Схема действия радиационного пирометра (а), термобатарея телескопа (б)

1 — излучающая поверхность нагретого тела, 2 — радиационный пирометр, 3 — термобатарея, 4 — показывающий прибор, 5 — термоэлектрический термометр

где T_{π} — температура, измеренная пирометром; ϵ_r — коэффициент черноты полного излучения тела. Значение ϵ_r находят экспериментально или берут из таблиц. По свойствам излучения наиболее близко подходит к абсолютно черному телу замкнутое пространство, поэтому измерение температуры в топках пирометрами излучения получается достаточно точным без внесения поправок.

На рис. 47, а представлена схема действия радиационного пирометра.

Тепловое излучение поверхности нагретого тела 1 воспринимается пирометром 2. Лучистая энергия концентрируется на термобатарее 3. Термобатарея (рис. 47, б) состоит из десяти последовательно соединенных V-образных миниатюрных термоэлектрических термометров 5 с электродами из проволоки хромеля и копеля. Плоские рабочие спай образуют венчик, наклеенный на слюдяную пластинку. Эдс термобатареи по проводам передается ко вторичному показывающему прибору 4 (потенциометру), который проградуирован в °С.

Потенциометр подбирается к пирометру в соответствии с градуировкой телескопа. В табл. 7 даны примеры градуировки телескопов. Параллельно выводам термобатареи в телескопах радиационных пирометров подключается катушка из никелевой проволоки. Она служит для компенсации изменений окружающей температуры в пределах до 100° С.

Таблица 7. Градуировки телескопа

Градуировка телескопа ТЕРА-50	Предел измерения, °С	Основная погреш- ность, °С	Напряжение на зажимах телескопа, мВ
РК-15	400—1500	± 15	0,16—34,0
РС-20	900—2000	± 20	2,32—75,0
РС-25	1200—2500	± 30	3,08—64,65

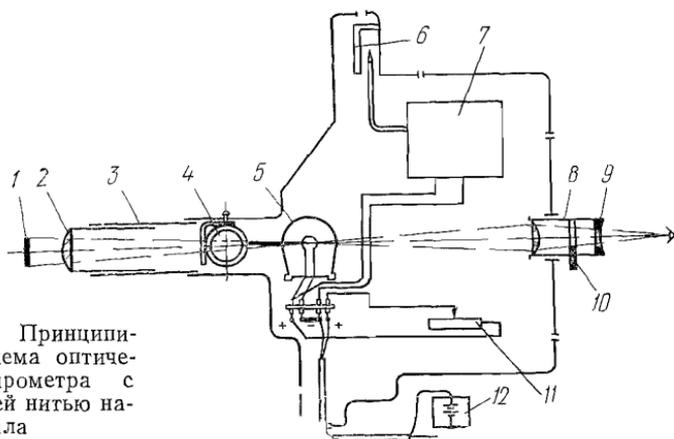


Рис. 48 Принципиальная схема оптического пирометра с исчезающей нитью накала

1 — нагретое тело, 2 — линза, 3 — выдвижная оправа, 4 — серый светофильтр, 5 — лампа, 6 — шкала милливольтметра, 7 — милливольтметр, 8 — визирующий окуляр, 9 — диафрагма, 10 — красный светофильтр, 11 — реостат, 12 — батарея

В пирометрах частичного излучения сравнивается яркость монохроматического излучения тела, температуру которого измеряют с яркостью образцового источника излучения.

Выпускают два типа пирометров частичного излучения — визуальные и фотоэлектрические.

В визуальных пирометрах яркость тела и образцового источника излучения сравнивается наблюдателем.

В фотоэлектрических пирометрах яркость сравнивается с помощью фотоэлементов или фотосопротивлений.

На рис. 48 представлена схема оптического пирометра ОППИР-017. Этот прибор является визуальным пирометром с исчезающей нитью накала.

Изображение нагретого тела 1 проектируется в плоскость нити накала пирометрической лампы 5. Наблюдатель визирует нить накала лампы через окуляр 8. Реостатом 11 регулируется ток нити накала. Регулирование производится до тех пор, пока изображение верхней части нити не исчезнет на фоне раскаленного тела.

Параллельно лампе включен милливольтметр 7, показывающий падение напряжения на лампе. Температура отсчитывается по шкале 6 милливольтметра (практически измеряется ток, соответствующий прогреву нити лампы до определенной температуры).

Линза 2 укреплена в выдвинутой оправе 3, это позволяет фокусировать изображение нагретого тела.

Для измерения температур выше 1300—1400° С, для того чтобы не перекаливать нить лампы, визирование ведется через серый светофильтр 4, который можно установить на пути пучка лучей. Красный светофильтр 10 установлен в оправе окуляра перед диафрагмой 9. Питание прибора осуществляется от батареи 12.

Милливольтметр имеет две шкалы для наблюдения без серого светофильтра и с ним.

Пределы измерения пирометром ОППИР-017 и допустимые погрешности приведены в табл. 8. Оптическая система пирометра ОППИР-017 обеспечивает четкую видимость предметов, находящихся перед объективом на расстоянии от 0,7 м до оптической бесконечности. Масса прибора 2 кг.

Таблица 8. Пределы измерений пирометром ОППИР-017

Модификация	Диапазон измерения температур, °С	Пределы измерения температур по шкалам, °С	Основная допустимая погрешность, °С
I	800—2000	800—1400 1200—2000	±20 ±30
II	1200—3200	1200—2000 1800—3200	±30 ±80
III	1500—6000	1500—2500 2200—6000	±60 ±250

§ 25. Особенности эксплуатации и монтажа приборов для измерения температуры

Так как между преобразователем прибора, измеряющего температуру, и средой, в которую он погружен, происходят сложные процессы теплообмена, температура, показываемая прибором, зависит от количества тепла, переданного преобразователю средой. Поэтому основными правилами монтажа всех преобразователей погружного типа являются:

наиболее полная глубина погружения и более точное размещение преобразователя в требуемой точке измерения технологического потока;

размещение термоприемника так, чтобы его ось была направлена навстречу потоку вещества, температура которого измеряется; хорошая изоляция теплопровода от внешней среды в месте размещения преобразователя, иначе повышенная потеря тепла в этом месте приведет к внесению погрешности в измерение;

установка преобразователя измерения температуры в местах, где отсутствуют завихрения потока теплоносителя. Это должны быть точки, удаленные на 2–3 диаметра трубопровода от всякого рода дросселирующих устройств (задвижки, заслонки, переходы, колена и т. д.).

При установке преобразователей необходимо следить, чтобы исключался их дополнительный нагрев или охлаждение от посторонних источников.

Стеклянные термометры нужно монтировать так, чтобы была обеспечена хорошая видимость шкалы термометра. Места установки выбирают такими, чтобы термометры не могли быть случайно повреждены. Баллон термометра необходимо заключить в защитную металлическую оправу. Резервуар термометра погружают в специальную гильзу. Гильзу заполняют медными, латунными опилками или кварцевым песком.

Для установки термометра на трубопровод наваривают специальную бобышку.

На рис. 49 показана установка термобаллона манометрического термометра в защитной гильзе. На трубопровод или стенку сосуда, в котором измеряют температуру, приваривают специальную бобышку 6 с внутренней резьбой. В резьбу вворачивают гайку 3 с приваренной гильзой 9. В гильзу вставляют термобаллон 8.

Для увеличения теплопроводности пространство между защитной гильзой и термобаллоном заполняют металлическими опилками или жидкостью 7 с температурой кипения выше, чем верхний предел измерения. С помощью штуцера 2 и разъемной шайбы 4 поджимается набивка 5 и таким образом создается герметичность системы.

При выборе места установки манометрических термометров необходимо соблюдать основные правила:

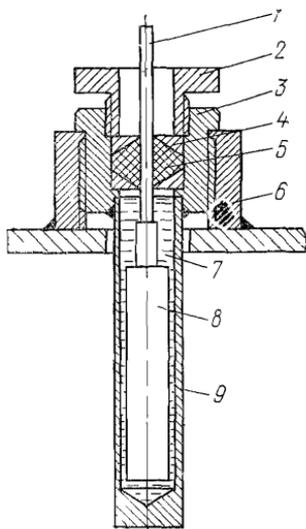


Рис. 49. Установка термобаллона манометрического термометра в защитной гильзе:

1 — хвостовик термометра, 2 — штуцер, 3 — гайка, 4 — разъемная шайба, 5 — уплотнительная набивка, 6 — бобышка, 7 — заполняющая среда, 8 — термобаллон, 9 — гильза

прибор и капилляр не должны находиться вблизи каких-либо нагревательных или охлаждающих устройств;

соединительный капилляр не должен подвергаться ударам и резким перегибам, так как может сузиться или закупориться внутренний канал. Радиус закругления в местах изгиба капилляра должен быть не менее 50 мм.

Требования монтажа для термометров сопротивления и термоэлектрических термометров во многом одинаковы.

При установке термоэлектрических термометров и термометров сопротивления необходимо следить, чтобы рабочий спай термопары и рабочая точка чувствительного элемента термометра сопротивления помещались в центре потока, температура которого измеряется. Компенсационные провода термоэлектрического термометра должны соответствовать его градуировке.

Чтобы уменьшить влияние магнитных полей и наводок, рекомендуется провода, идущие от термоэлектрического термометра, прокладывать отдельно от электрических проводов или заключать их в стальные трубы. Сечение соединительных проводов необходимо выбирать так, чтобы их сопротивление не вносило погрешности в измерение, производимые термометром сопротивления или термоэлектрическим термометром.

Соединительные провода для термоэлектрических термометров должны быть обязательно медными. По условиям механической прочности сечение проводов выбирается не менее 1,5 мм².

Для замера температуры в топке радиационными пирометрами в нее монтируется калильная карборундовая тонкая шамотная трубка с заделанным со стороны топки концом. Заделанный конец трубки имеет практически такую же температуру, как топочные газы. Трубка изолирует топочное устройство от выбивания пламени, а также от подсоса холодного воздуха. Соединение термобатарей телескопа радиационного пирометра с показывающим прибором должно осуществляться медными проводами.

Расстояние от телескопа до излучателя должно составлять от 0,9 до 1,5 м. Диаметр излучателя должен быть равен не менее 0,05 расстояния между телескопом и излучателем.

Большое значение имеет правильная наводка телескопа на излучатель. Необходимо, чтобы видимые через смонтированный глазок лепестки термобатарей были целиком покрыты изображением излучателя.

Контрольные вопросы

1. Чем отличается оправа стеклянных термометров типа А от типа Б?
2. Почему в жидкостных манометрических термометрах термобаллон должен быть расположен на одном уровне с манометрической пружиной?
3. Как работает бесконтактное сигнальное устройство манометрического термометра?
4. Зачем нужны компенсационные провода в схеме измерения температуры с помощью термоэлектрического термометра?
5. Зачем нужна коробка холодных спаев?
6. Что такое эдс термобатарей?
7. Каковы основные правила установки термоэлектрических термометров?

Измерение уровня в производственной практике — одна из самых распространенных задач в общей системе заводского контроля. Измерение уровня не всегда возможно визуальным способом.

В качестве примера, исключающего ручные замеры и показывающего важность информации, служит уровень в барабане котельного агрегата. Барабан герметичен и находится под давлением. Вода и пар в нем высокой температуры. В процессе переходных режимов уровень в котле быстро меняется на весьма значительную величину. С одной стороны, упуск уровня из барабана приводит к пережогу кипяtilьных труб, а с другой — переполнение барабана котла водой может привести к забросу воды в паропроводы и повлечь разрушение лопаток турбины.

Уровень измеряется линейными мерами длины: метрами, сантиметрами и миллиметрами.

Все приборы измерения уровня можно разделить на две группы: приборы следящего уровня и сигнализаторы уровня.

Приборы следящего уровня (уровнемеры) постоянно измеряют уровень. Эти приборы показывают уровень в емкости по всей высоте диапазона измерения. Сигнализаторы уровня контролируют только отдельные точки уровня среды.

В некоторые модификации уровнемеров встраивают устройства для сигнализации контрольных точек уровня в емкости.

§ 26. Уровнемеры

Измерение уровня с помощью дифманометра. На рис. 50 показана схема промышленного уровнемера У-III с дифференциальным манометром ДМПК-100.

На чувствительный элемент дифманометра 1 воздействуют два столба жидкости. Столб из сосуда постоянного уровня 4 подсоединен к плюсовой камере дифманометра. Сосуд постоянного уровня соединен с паровым пространством барабана котла 5. В сосуде все время происходит конденсация паров и за счет этого уровень в сосуде пополняется. Лишняя вода сливается через трубку и вентиль 2 в барабан. Минусовая камера дифманометра через тройник 6 подсоединяется к сосуду переменного уровня 3. В этом сосуде устанавливается уровень, равный отметке уровня в барабане котла. Дифманометр показывает разницу давлений двух столбов жидкости. Но так как один (плюсовой) столб имеет постоянный уровень, дифманометр показывает уровень в барабане котла.

Такое устройство позволяет показывающий прибор уровня устанавливать на площадке обслуживания оператора, которая находится ниже барабана котла.

Прибор будет правильно показывать уровень только в том случае, если плотность жидкости, находящейся в плюсовой и минусовой линиях, одинакова.

Плотность воды в зависимости от температуры и давления значительно меняется. Так, например, при температуре 100°C и давлении $1,03\text{ кг/см}^2$ (101 кПа) плотность воды $0,96\text{ г/см}^3$ (960 кг/м^3), а при температуре 200°C и давлении $4,85\text{ кг/см}^2$ (476 кПа) — плотность воды $0,87\text{ г/см}^3$ (870 кг/м^3). Это составит ошибку в измерении 9%.

В показанном на рис. 50 устройстве сосуд переменного уровня находится внутри сосуда постоянного уровня. Этой конструкцией достигается одинаковая температура воды в обоих сосудах.

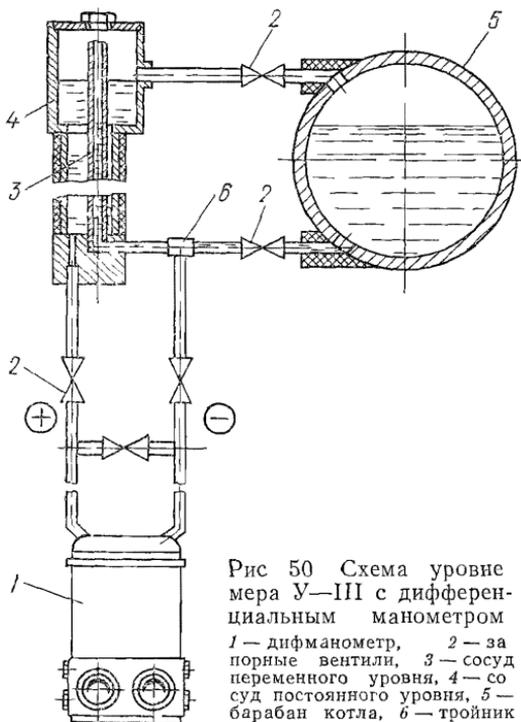


Рис 50 Схема уровнемера У—III с дифференциальным манометром
1 — дифманометр, 2 — запорные вентили, 3 — сосуд переменного уровня, 4 — сосуд постоянного уровня, 5 — барабан котла, б — тройник

Вместо дифманометра ДМПК-100 может быть применен любой другой дифманометр.

Измерения уровня с помощью поплавкового устройства. Уровнемер УМ2-31-ОНБТ-11 применяется для измерения уровня в открытых резервуарах и емкостях.

Преобразователь уровнемера УМ2-31-ОНБТ-11 типа ДСУ-1М показан на рис. 51. Преобразователь укрепляют над емкостью так, чтобы поплавок 11 плавал на поверхности жидкости, уровень которой измеряется. С изменением уровня поплавок перемещается вверх или вниз. Когда уровень понижается, поплавок под

действием собственной тяжести уходит вниз и через трос 10 передает вращение барабану 5. Если уровень повышается, поплавок и трос перемещаются вверх под действием противовеса 1, укрепленного на барабане 4. Барабан 4 сидит на одном валу с барабаном 5. На валу 3 укреплена шестеренчатая передача, состоящая из шестерен 6, 7 и 9. Шестерня 9 передает вращение сельсину-преобразователю 2, а шестерня 7 — счетчику местного отсчета 8.

Сельсин-преобразователь электрической линией передачи связан с сельсином-приемником, на валу которого укреплена стрелка, показывающая на шкале отметку измеряемого уровня.

Принцип действия системы синхронной передачи угла поворота с применением сельсина становится понятным из рассмотрения рис. 52. Система состоит из сельсина-преобразователя А и сельсина-приемника Б.

Сельсины представляют собой малогабаритные асинхронные двигатели с трехфазным ротором и однофазным статором. Обмотки ротора преобразователя и приемника включены навстречу друг другу. Если роторы машин по отношению к своим статорам занимают одинаковые углы поворота, оба ротора останутся неподвижными. Это происходит потому, что эдс E_A , наведенная в обмотках ротора сельсина-преобразователя A , в каждый момент времени будет равна по величине и противоположна по фазе эдс E_B , соответствующей обмотке ротора сельсина-приемника B . В результате

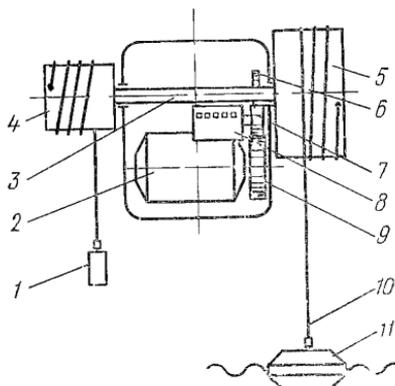


Рис 51 Преобразователь ДСУ-1М:

1 — противовес, 2 — сельсин, 3 — вал, 4 — барабан противовеса, 5 — мерительный барабан, 6, 7, 9 — шестерни зубчатой передачи, 8 — счетчик местного отсчета, 10 — трос, 11 — поплавок

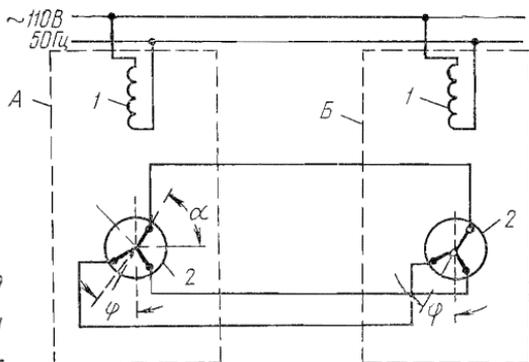


Рис 52 Принципиальная схема сельсинной передачи

A — сельсин-преобразователь, B — сельсин-приемник, 1 — обмотка возбуждения, 2 — обмотка ротора

ток в роторных обмотках равен нулю, и вращающий момент не создается (рис. 53, a). Так как обмотки включены навстречу друг другу, эдс на рис. 53, a условно сдвинута на 180° .

Пусть роторы сельсинов, находящихся в равновесии, занимают положение, при котором они повернуты по отношению к оси симметрии на угол φ . Если уровень изменится так, что ротор сельсина A повернется на угол α по часовой стрелке, то эдс E_A сельсина A (рис 53, b) тоже сдвинется на угол α и величины эдс обоих роторов в каждый момент времени уже не будут равны друг другу. Между концами соединенных обмоток появится разность потенциалов

$$\Delta E = [E_A \sin(\varphi + \alpha) - E_B \sin \varphi].$$

В результате в обмотках роторов преобразователя и приемника появится уравнительный ток. Взаимодействие этого тока с магнитными потоками статоров создаст в каждом из сельсинов вращающий момент. Ротор преобразователя повернуться не может, так как возникший вращающий момент меньше момента сопротивления системы редуктор — поплавок — уровень. Под действием вращаю-

шего момента ротор приемника поворачивается в ту же сторону, в которую повернулся ротор преобразователя, до тех пор, пока не исчезнет уравнительный ток, т. е. разность потенциалов E станет равна нулю. Это случится тогда, когда ротор приемника, повернувшись на угол α , займет по отношению статора такое же положение, как ротор преобразователя. Стрелка сельсина-приемника B покажет новое положение уровня.

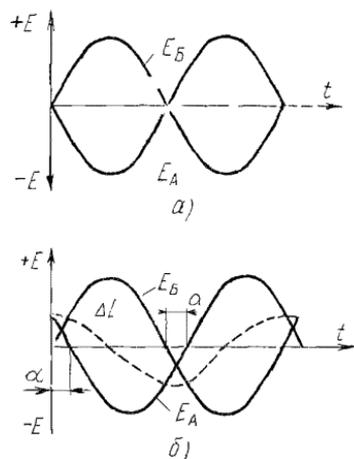


Рис. 53 Временные диаграммы напряжений роторов сельсин-преобразователь и сельсин-приемник занимают одинаковое положение, б — сельсин преобразователь повернут, E_A — эдс сельсина А, E_B — эдс сельсина В, ΔE — разность потенциалов, α — угол сдвига фаз эдс

К одному сельсину-преобразователю может быть подсоединено до трех сельсин-приемников.

Устройство получает питание от сети переменного тока 50 Гц. Напряжение на зажимах сельсин-преобразователя должно быть 104—115 В. Потребление тока сельсин-преобразователем составляет 0,9 А, а сельсин-приемником — 0,45 А. Пределы измерения уровня сельсин-приемником УСП-1М: 1,25; 2,5; 5; 7,5; 10; 12 и 20 м. Дальность линии связи определяется сопротивлением проводов, которое должно быть не более 30 Ом. При применении медного провода сечением 4 и 6 мм² показания могут передаваться до 10 км. Габариты преобразователя УСП-1М — 249×98×175 мм, масса 2,8 кг.

Буйковый уровнемер УБ-Э и УБ-П.

Буйковые уровнемеры входят в унифицированную систему электрических и пневматических взаимозаменяемых датчиков ГСП и используются в комплексе со вторичными приборами, регуляторами и другими устройствами автоматики, работающими от стандартного электрического сигнала 0—20 мА или пневматического импульса давлением 0,2—1 кгс/см² (19,6—98 кПа).

В буйковых уровнемерах рычаг 1 (см рис. 6) жестко связан с буйком, плавающим в емкости, в которой измеряется уровень.

Измерения уровня с помощью емкостных индикаторов. Конструктивно индикатор уровня, основанный на измерении электрической емкости, представляет собой два электрода, опущенных в измеряемую среду. Один из электродов заземлен. В одной из модификаций прибора, выпускаемого заводом, один электрод представляет собой одножильный кабель, жила которого со всех сторон окружена изоляцией и на срезе внизу жила также изолирована. Вторым электродом служит стальная труба диаметром около 200 мм. Трубу устанавливают вертикально в измеряемой емкости так, чтобы в нее свободно проникала жидкость и уровень в трубе не отличался от уровня в емкости. В трубу опускают кабельный электрод (рис. 54).

Емкость цилиндрического конденсатора, Φ , определяется по формуле

$$C = \varepsilon \frac{2\pi l}{\ln \frac{d_2}{d_1}},$$

где ε — диэлектрическая проницаемость среды между внутренним и наружным электродами, $\Phi/\text{см}$; d_1 — диаметр внутреннего электрода, см; d_2 — диаметр внешнего электрода, см, l — длина электродов конденсатора, см.

Диаметры внешнего (трубы) и внутреннего (кабель) электродов постоянны. Диэлектрическая проницаемость среды также постоянна. Таким образом получается как бы два конденсатора, соединенных параллельно между собой. Общая емкость их будет равна

$$C_{\text{об}} = C_{\text{ср}} + C_{\text{в}},$$

где $C_{\text{ср}}$ — емкость части конденсатора, погруженного в среду; $C_{\text{в}}$ — емкость другой части конденсатора, находящейся вне среды. Так как

$$\begin{aligned} C_{\text{ср}} &= \varepsilon_{\text{ср}} \frac{2\pi l_{\text{ср}}}{\ln \frac{d_2}{d_1}} \quad \text{и} \quad C_{\text{в}} = \varepsilon_{\text{в}} \frac{2\pi l_{\text{в}}}{\ln \frac{d_2}{d_1}}, \quad \text{то} \quad C_{\text{об}} = \varepsilon_{\text{ср}} \frac{2\pi}{\ln \frac{d_2}{d_1}} l_{\text{ср}} + \varepsilon_{\text{в}} \frac{2\pi}{\ln \frac{d_2}{d_1}} l_{\text{в}} = \\ &= \frac{2\pi}{\ln \frac{d_2}{d_1}} (\varepsilon_{\text{ср}} l_{\text{ср}} + \varepsilon_{\text{в}} l_{\text{в}}). \end{aligned}$$

Общая длина электродов $l = l_{\text{ср}} + l_{\text{в}}$, откуда $l_{\text{в}} = l - l_{\text{ср}}$, тогда $C_{\text{об}} = K[\varepsilon_{\text{ср}} l_{\text{ср}} + \varepsilon_{\text{в}}(l - l_{\text{ср}})] = K l_{\text{ср}}[\varepsilon_{\text{ср}} + \varepsilon_{\text{в}}(l - 1)]$ или $C_{\text{об}} = K K_1 l_{\text{ср}}$, где $K = \frac{2\pi}{\ln \frac{d_2}{d_1}}$; $K_1 = [\varepsilon_{\text{ср}} + \varepsilon_{\text{в}}(l - 1)]$.

В этой формуле величины K , $\varepsilon_{\text{ср}}$, $\varepsilon_{\text{в}}$, l — постоянные; переменной является только величина уровня $l_{\text{ср}}$. Итак, емкость $C_{\text{об}}$ изменяется с изменением уровня $l_{\text{ср}}$.

Сигнал изменения емкости воспринимается электронным блоком прибора, усиливается и передается на показывающий прибор

На рис. 55 представлена принципиальная схема электронного блока индикатора уровня ЭИУ-2.

Чувствительным элементом электронного блока является индуктивно-емкостный мост, два плеча которого образованы вторичной обмоткой (3—4—5) трансформатора $Tr1$. Два других плеча обра-

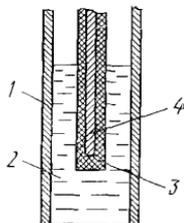


Рис. 54 Конструктивная схема электрода емкостного индикатора уровня

1 — металлическая труба, 2 — среда измеряемого уровня, 3 — изоляция, 4 — жила кабеля

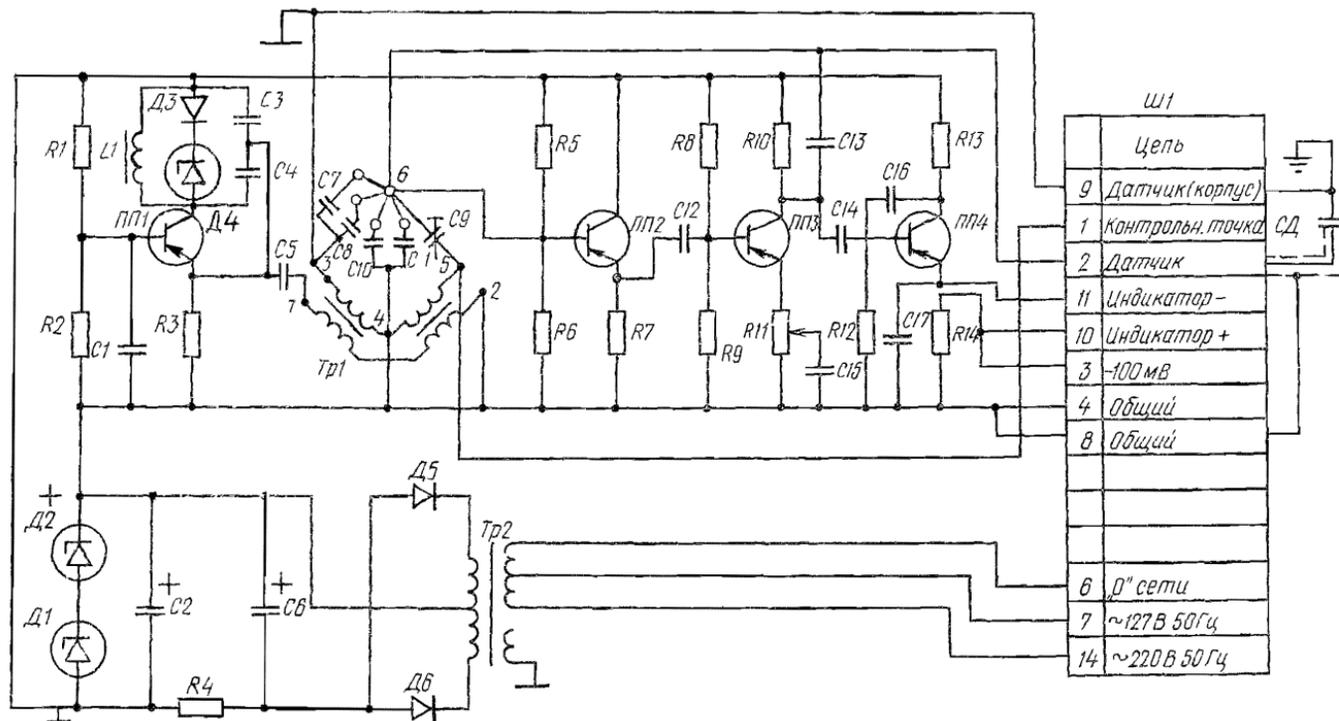


Рис. 55 Принципиальная схема электронного индикатора уровня ЭИУ-2:

Ш1 — штекерный разъем, СД — емкость преобразователя, Tr2 — силовой трансформатор, Tr1 — трансформатор питания моста, Д1, Д2, Д4 — стабилитроны, Д3, Д5, Д6 — диоды, С1—С17 — конденсаторы, R7—R14 — резисторы, L1 — катушка индуктивности, ПП1—ПП4 — транзисторы

зованы емкостями. В одном плече между точками 5 и 6 включен подстроечный конденсатор *C9*, другое плечо образовано измеряемой емкостью *СД* преобразователя (зажимы 9, 2 штекера *Ш1*).

Конденсаторы *C7*, *C8*, *C10*, *C11* служат для подгонки диапазона измерения.

Питание мост получает от первичной обмотки трансформатора *Тр1*. Подобная схема эквивалентна подключению питающего генератора к точкам 3—5 моста. Сигнал разбаланса снимается со второй диагонали моста между точками 6 и 4.

Сигнал поступает на усилитель, состоящий из эмиттерного повторителя *ПП2*, усилительного каскада *ПП3* и выходного каскада *ПП4*.

На триоде *ПП1* собран генератор синусоидальных колебаний. В цепь коллектора триода *ПП1* включен контур из индуктивности *L1* и емкостей *C3* и *C4*, настроенный на частоту 100 кГц. Напряжение этой частоты от контура подается на эмиттер триода *ПП1* (обратная связь) — цепь самовозбуждения и через емкость *C5* на трансформатор *Тр1* индуктивно-емкостного моста.

В разрыв эмиттерной цепи транзистора *ПП4* (зажимы 10 и 11 штекера *Ш1*) включается милливольтметр постоянного тока. Хотя усиление сигнала производится на переменном токе, режим последнего транзистора подобран так, что он срезает отрицательные полуволны сигнала, т. е. служит выпрямителем.

Установка стрелки на нуль шкалы производится переменным конденсатором *C9*. Установка 100% шкалы производится потенциометром *R11*. В зависимости от изменения электрической емкости преобразователя прибор может работать в одном из диапазонов 0—300 пФ; 0—600 пФ; 0—1200 пФ.

Габаритные размеры электрического блока 292×152×90 мм. Масса блока 2,5 кг.

§ 27. Сигнализаторы уровня

Во многих случаях в производственной практике нет необходимости иметь постоянные показания уровня, т. е. можно обойтись без приборов, постоянно следящих за уровнем. В этих случаях достаточно сигнализировать предельные значения уровня, например верхний и нижний уровень в емкости. Сигнал верхнего уровня указывает оператору, что емкость полна и процесс заполнения можно прекратить. Сигнал нижнего уровня, наоборот, свидетельствует, что емкость необходимо заполнить.

Часто сигнализаторы уровня используются наряду с уровнемерами для того, чтобы световым и звуковым сигналом привлечь внимание оператора или диспетчера о выходе уровня из допустимых пределов. Сигнализаторы уровня по своей конструкции проще, а следовательно, надежней уровнемеров, поэтому они получили широкое распространение.

Сигнализаторы уровня могут быть электрическими и пневматическими. В связи с тем что показывающим устройством в сигнали-

заторах является электрическая лампочка, электрический сигнализатор не требует преобразования энергии.

Пневматические сигнализаторы уровня применяются в основном во взрывоопасных или химически активных цехах. Для подачи светового сигнала пневматический импульс преобразуется в электрическую команду.

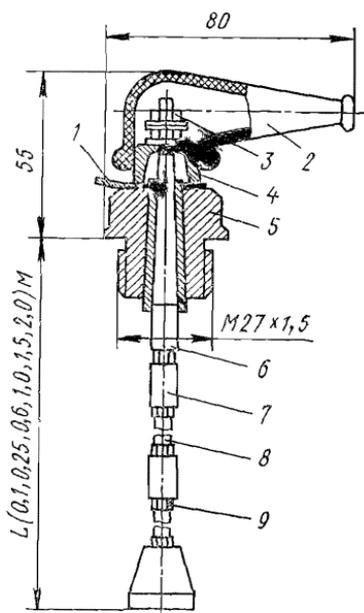


Рис 56 Конструкция электрода:

1 — контактный лепесток, 2 — колпачок, 3, 9 — гайки, 4 — фиксирующий колпачок, 5 — штуцер, 6 — изолированный стержень, 7 — наконечник, 8 — изолированный стержень

Наиболее распространенными приборами являются сигнализаторы уровня с электроконтактными преобразователями. Принцип работы таких сигнализаторов основан на замыкании цепи электрического тока материалом, касающимся опущенного в измеряемую емкость электрода.

Одним из наиболее употребляемых сигнализаторов уровня с электроконтактными преобразователями является регулятор-сигнализатор уровня ЭРСУ-3. Он предназначен для сигнализации и поддержания в заданных пределах уровня электропроводных сред в различных резервуарах, в том числе уровня воды в паровых котлах.

Преобразовательный элемент прибора представляет собой стержень из электропроводного материала.

Конструкция одной из модификаций преобразовательного элемента показана на рис. 56.

Составной электрод преобразовательного элемента представляет собой изолированный металлический стержень 6 постоянной длины и изолированный металлический стержень 8, длина которого выполняется по заказу.

Электрод укреплен с помощью штуцера 5 и фиксирующего колпачка 4. Соединение стержней 6 и 8 осуществляется с помощью наконечника 7 и гайки 9.

Лепесток 1 служит для подсоединения провода к корпусу преобразователя. Резиновый колпачок 2 изолирует место присоединения провода к электроду от внешних воздействий и случайных прикосновений. Крепление провода к электроду производится с помощью гаек 3.

Принцип работы прибора основан на изменении электрического сопротивления между электродом преобразователя и стенкой сосуда или заземленным электродом.

Полупроводниковый усилитель сигнализатора состоит из трех одинаковых блоков (рис. 57). Выпрямитель $Vn1$ подает питание на два триода $T1$ и $T2$.

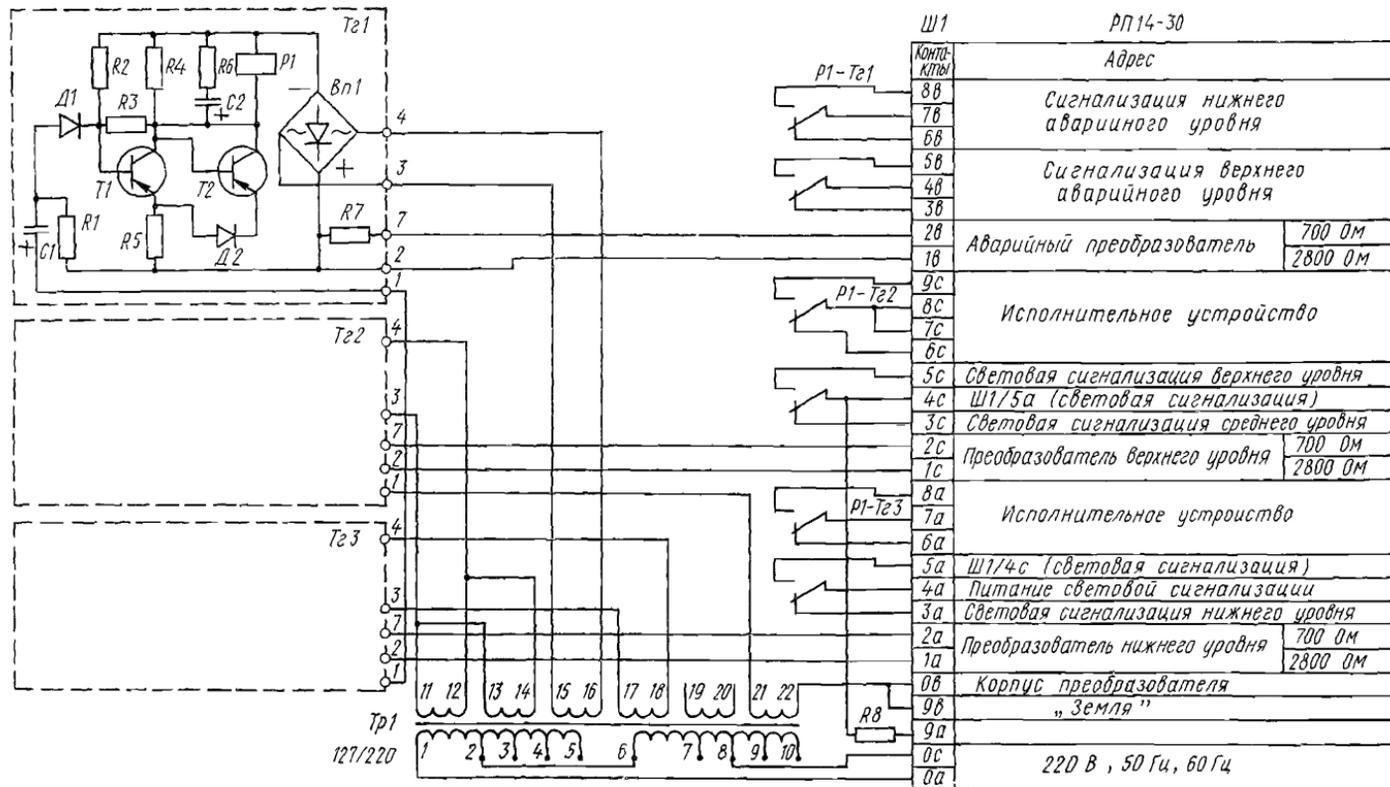


Рис 57. Электрическая схема релейного блока

T_g — блоки электронных усилителей, B_n — выпрямитель, P_1 — реле, T_1 , T_2 — триоды, P_1 — P_8 — резисторы, C_1 — C_2 — конденсаторы, D_1 , D_2 — диоды

Когда рассматриваемый электроконтактный преобразовательный элемент не омывается жидкостью и зажимы *1в* (*2в*) штекерного разъема не замкнуты с зажимами *0б* (*9б*), триод *T1* открыт полностью и находится в режиме насыщения. Цель управления триодом питается от выпрямителя *Bn1* через резистор *R5*, переход эмиттер — база, резистор *R2*. Силовая цепь выпрямитель *Bn1*, резистор *R5* эмиттер — коллектор, резистор *R4*.

Так как транзистор *T1* полностью открыт, на базе транзистора *T2* растет плюсовой потенциал и он закрывается, т. е. работает в режиме отсечки. Ток катушки реле *P1* стремится к нулю.

Рассмотрим режим, когда преобразовательный элемент замыкается измеряемой жидкостью. Тогда обмотка *21—22* силового трансформатора через конденсатор *C1*, диод *D1*, базу — эмиттер *T1*, резистор *R5*, преобразовательный элемент, жидкость «земля» создает положительный потенциал на базе триода *T1*. Триод закрывается, его сопротивление резко увеличивается и на базе транзистора *T2* появляется отрицательное напряжение. Триод *T2* полностью открывается и реле *P1* срабатывает. Каждое реле имеет два переключающихся контакта, выведенных на штекерный разъем, что дает возможность собрать ряд разнообразных схем.

Регулятор сигнализатор может контролировать уровень в емкостях давлением среды 25 кгс/см^2 и температурой до 200°C . Длина электродов до 2 м, материал электродов — нержавеющая сталь и фторопласт 4 или полиэтилен. Масса прибора не более 4 кг.

Там, где работа обычных уровнемеров затруднена или невозможна, применяют радиоактивные сигнализаторы уровня (гамма-реле), которые служат для бесконтактной сигнализации уровня жидкостей, твердых или сыпучих материалов.

Принцип работы гамма-реле состоит в том, что интенсивность потока гамма-излучения, попадающего на преобразовательный элемент, зависит от плотности среды, через которую он проникает. Приемная станция и блок источника гамма-излучения устанавливаются на противоположных сторонах измеряемой емкости на контролируемых уровнях.

Приемная станция воспринимает изменения радиоактивного излучения и преобразовывает его в импульсы электрического напряжения.

Детектором излучения являются счетчики. В одном преобразователе может быть установлен один или несколько счетчиков, соединенных параллельно.

Конструкция счетчиков представляет собой безнагревную электронную лампу, электроды которой — металлический цилиндр (катод) и металлическая нить (анод), натянутая по оси цилиндра. Пространство между электродами заполнено смесью газов (например, смесью неона или аргона с хлором, бромом или йодом).

Под воздействием ионизирующего излучения в пространстве между двумя электродами образуется пара электрон — ион. Электрон, ускоряясь в электрическом поле напряжения, действующего между электродами счетчика, ионизирует молекулы газа, встреча-

ющиеся на пути. Вследствие вторичной ионизации образуется лавина электронов, которая приводит к самостоятельному разряду в счетчике. Разряд длится 10^{-4} — 10^{-5} с и прекращается в результате одновременного появления медленно движущихся к катоду положительных ионов

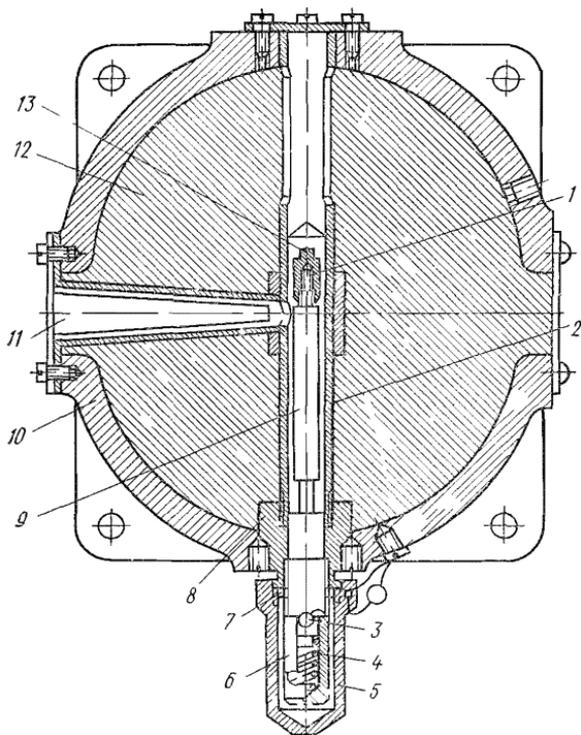


Рис. 58 Блок источника радиоактивного излучения

1 — источник излучения 2 — труба 3 — винты 4 — гружина 5 — колпачок 6 и 8 — ртулки 7 — контргайка 9 — шток 10 — оболочка 11 — рробка 12 — свинец 13 — колпачок

Образующийся в процессе разряда отрицательный импульс напряжения воспринимается электронным усилителем. В нем происходит усиление импульсов и при достижении ими заданных значений срабатывает выходное реле.

В качестве источника радиоактивного излучения применяют радиоактивные изотопы Co^{60} или Cs^{137}

В связи с тем что к радиоактивным материалам предъявляются особые требования, блок источника представляет собой специальную конструкцию (рис. 58), состоящую из источника радиоактивного излучения, регулировочного механизма и защитной чугунной оболочки, залитой свинцом

Источник радиоактивного излучения 1 помещают в дюралюминевый колпачок 13, который навинчивают на торец штока 9 регулировочного механизма. Регулировочный механизм служит для быстрой и надежной установки источника радиоактивного излучения в рабочее и нерабочее положение. Регулировочный механизм состоит из штока 9 с направляющими винтами 3, способного под действием пружины 4 свободно перемещаться во втулке 6 по двум продольным пазам. Шток фиксируется в двух положениях — хранения и рабочем. На втулке имеется риска, нанесенная красной краской, обозначающая местоположение штока с источником радиоактивного излучения в рабочем положении. В собранном виде регулировочный механизм крепится во втулке 8 защитной чугунной оболочки при помощи резьбы и контргайки 7. Защита регулировочного механизма от механических повреждений осуществляется при помощи навинчивающегося на втулку 8 стального колпачка 5. После отладки и регулировки механизма на заводе-изготовителе защитный колпачок пломбируется.

Защитная чугунная оболочка 10, залитая свинцом 12, является надежной защитой от радиоактивного излучения. Оболочка снабжена трубой 2, внутри которой осуществляется передвижение штока регулировочного механизма с источником радиоактивного излучения. В чугунной оболочке, залитой свинцом, перпендикулярно оси передвижения штока сделано овальное конусообразное отверстие.

Конструкция блока источника дает возможность устанавливать источник радиоактивного излучения в рабочее (источник радиоактивного излучения устанавливается на геометрической оси отверстия) и нерабочее (источник радиоактивного излучения смещается относительно геометрической оси отверстия во внутрь свинцовой оболочки) положения. В период транспортировки или хранения отверстия блока источника закрывается свинцовой пробкой 11 и пломбируется.

§ 28. Особенности эксплуатации приборов измерения и сигнализации уровня

Эксплуатация приборов измерения и сигнализации уровня в основном сводится к своевременным планово-предупредительным ремонтам, своевременной подтяжке резьбовых соединений, смазке вращающихся и шарнирных соединений и чистке аппаратов. Однако к некоторым уровнемерам и сигнализаторам уровня предъявляются дополнительные требования.

Обслуживание уровнемеров с сельсинной передачей. В процессе эксплуатации поплавкового устройства для измерения уровня с сельсинной системой передачи:

а) производится регулировка массы поплавка добавлением или уменьшением количества песка, засыпаемого в поплавок. Масса

поплавка с песком должна быть такой, чтобы равновесие наступило при погружении поплавка в воду наполовину;

б) при погружении поплавка показания местного счетчика на преобразователе должны соответствовать фактическому уровню. Для точной установки счетчика на нужное показание следует ослабить винты фиксации мерительного барабана и поворотом вала преобразователя (придерживая большой барабан с тросом) добиться нужного показания при погруженном поплавке.

При перерывах в подаче питания сельсином во время эксплуатации согласованная работа преобразователей с приемниками может расстроиться. Если расхождение в показаниях соответствующих счетчиков преобразователей и приемников во время перерыва питания не превысило 4,5 см, то при возобновлении подачи тока приборы синхронизируются сами, автоматически. Если расхождение в показаниях счетчиков на преобразователях и приемниках превысило 4,5 см, следует провести принудительную синхронизацию. Для этого, не включая питания, надо снять крышку сельсина-приемника (отвернуть четыре винта в выступающей части корпуса) и, вращая от руки вал ротора, установить на счетчике сельсина-приемника величину, равную показанию счетчика сельсина-преобразователя в данный момент. После этого включить питание преобразователя и приемника.

Обслуживание ЭРСУ-3. Периодически, через 5000 ч эксплуатации (или 1—2 раза в год), рекомендуется производить регламентные работы:

- а) наружный осмотр регулятора-сигнализатора;
- б) проверку рабочей поверхности преобразовательных элементов, при необходимости чистку;
- в) проверку сопротивления изоляции.

При наружном осмотре регулятора-сигнализатора проверяется отсутствие нарушений в подсоединенных проводах к преобразователям и релейному блоку, наличие заземления релейного блока, состояние резиновых колпачков на преобразователях.

При исследовании рабочей поверхности преобразовательных элементов необходимо проверить наличие осадков и коррозии на поверхности электрода и его изоляторе. В случае отсутствия доступа к электроду преобразователь необходимо вывернуть из резервуара. После очистки поверхности электрода его изолятор следует протереть чистой тканью, смоченной каким-либо растворителем. Нельзя допускать царапины или риски на поверхности изолятора электрода.

При проверке сопротивления изоляции производят измерение сопротивления между всеми контактами (кроме 2в, 1в, 2с, 1с, 2а, 1а) вилки штепсельного разъема и корпусом релейного блока при отсоединенном гнезде разъема, а также между центральным электродом и корпусом каждого преобразователя. Измерение сопротивления изоляции следует производить мегомметром, развивающим напряжение 500 В. Сопротивление изоляции должно быть не менее 20 МОм.

Обслуживание радиоактивных гамма-реле. При соблюдении определенных требований эксплуатация прибора совершенно безопасна.

Категорически запрещается вскрывать преобразователь, не выключив гамма-реле. При осмотрах и ремонтах необходимо отключить питание гамма-реле и перевести источник в положение «закрыто».

Перезарядку и ремонт блоков с источником допускается осуществлять только специальным базовым изотопным лабораториям и специальным монтажным управлениям по монтажу и наладке радиоизотопной техники Всесоюзного объединения «Изотоп».

При монтаже гамма-реле и его эксплуатации запрещается:

- а) вскрывать блок источника и извлекать стержень с радиоактивным препаратом;
- б) находиться длительное время в непосредственной близости от источника (внутри огороженного участка);
- в) ставить источник в рабочее положение до установки блока источника на объекте;
- г) использовать блок источника не по назначению, для каких-либо других целей;
- д) производить монтажно-ремонтные и какие-либо другие работы внутри объекта измерения, если источник находится в рабочем положении.

Необходимо регулярно производить дозиметрические измерения на рабочих местах постоянного пребывания людей близ объекта измерения уровня.

Контрольные вопросы

1. Каковы различия между уровнемерами и сигнализаторами уровня?
2. Как устроен сельсин? Почему сельсин-приемник поворачивается на тот же угол, что и сельсин-преобразователь?
3. Как устроен поплавковый уровнемер?
4. Почему изменяется емкость между электродами в зависимости от уровня?
5. Как регулируют массу поплавка в поплавковых уровнемерах?
6. Что такое принудительная синхронизация?
7. Что проверяется при наружном осмотре регулятора-сигнализатора ЭРСУ-3?
8. Какие правила безопасности надо соблюдать при монтаже и обслуживании гамма-реле?

Глава VII

ПРИБОРЫ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

§ 29. Газоанализаторы

Общие сведения. Экономичность теплового процесса энергетической установки в значительной степени зависит от потерь тепла. Потери тепла складываются из химической неполноты сгорания топлива и уноса тепла с дымовыми газами.

Для поддержания процесса горения в топке необходимо подавать в топку строго оптимальное количество воздуха, которое определяется коэффициентом избытка воздуха. Если подаваемого в топку воздуха не хватает, то не все топливо полностью сгорает, а следовательно, не отдает все тепло, которое можно было бы от него получить. Если в топку подается слишком много воздуха, то топка переохлаждается и увеличиваются потери тепла с уходящими газами.

Контроль нормального горения топлива в топке ведется с помощью анализа дымовых газов. Из графика (рис. 59) видно, что коэффициенту избытка воздуха соответствует определенное содержание углекислого газа и кислорода в дымовых газах. Таким образом, контроль качества процесса горения можно вести по содержанию CO_2 и O_2 в газах.

Приборы, с помощью которых производится контроль и анализ газовых смесей, называются *газоанализаторами*. Номенклатура газоаналитических приборов очень разнообразна вследствие большого многообразия состава анализируемых газовых смесей и большого диапазона колебаний концентрации отдельных компонентов этих смесей.

В современных газоанализаторах используются самые различные физико-химические методы анализа, основанные на новейших достижениях различных отраслей науки и техники (оптики, электроники, электротехники и т. д.).

Автоматический газоанализатор правильно работает только в том случае, если обеспечивается целый ряд требований, предъявляемых к подаче анализируемой газовой смеси.

1. В тех случаях, когда анализ ведут с помощью нагревательных элементов преобразователя, газ, подаваемый в анализатор, должен быть строго определенной температуры.

2. Газоанализатор рассчитан на определенное давление и зачастую не может выдерживать давления, под которым находится газ в технологическом процессе. Поэтому давление подаваемого в прибор газа должно быть снижено.

3. Анализируемая газовая смесь может быть загрязнена механическими примесями и иметь повышенную влажность. Поэтому перед подачей газовой смеси в преобразователь анализатора смесь газа должна быть очищена и осушена.

4. Расход газа, подаваемого на анализ, должен быть строго постоянен, иначе температура нагревательных элементов преобразователя будет меняться не в зависимости от содержания определя-

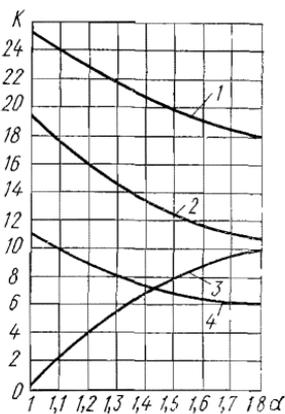


Рис. 59 Зависимость состава дымовых газов от коэффициента избытка воздуха:

K — процентное содержание газов, α — коэффициент избытка воздуха, 1, 4 — CO_2 для двух видов газообразного топлива, 2 — CO_2 для твердого топлива, 3 — O_2

емого компонента в смеси газов, а от количества обдувающего термоэлемент газа.

5. Во многих случаях анализируемый газ находится под давлением меньшим, чем то, которое необходимо для подачи газа в прибор. Например, дымовые газы, которые оттягиваются из топки благодаря разрежению в дымовом тракте. В этих случаях необходим специальный аппарат, подающий газ в прибор.

По характеру исполнения газоанализаторы могут быть нормального и специального исполнения.

Приборы нормального исполнения эксплуатируются в помещениях с нормальными условиями среды. Эти помещения не являются взрывоопасными. Как правило, газоанализаторы устанавливают в изолированных, хорошо вентилируемых шкафах, помещениях и кабинах. Однако в отдельных случаях, когда по условиям анализа или другим причинам газоанализаторы приходится устанавливать во взрывоопасных помещениях, применяют приборы во взрывобезопасном исполнении. Такие приборы подразделяются на три категории: взрывонепроницаемые, искробезопасные и взрывозащищенные.

Во взрывобезопасном исполнении обычно выпускаются только преобразователи и вспомогательные устройства. Электронные блоки и вторичные приборы имеют нормальное исполнение и устанавливаются во взрывобезопасных помещениях.

Газоанализаторы могут быть стационарными и переносными.

В практике эксплуатации наиболее часто встречаются газоанализаторы, построенные по методу теплопроводности и магнитной восприимчивости.

Газоанализаторы, основанные на методе измерения теплопроводности. Теплопроводность вещества характеризует его способность проводить тепло путем передачи энергии от молекул к молекуле. Теплопроводность газов тем больше, чем меньше диаметр молекул, чем больше скорость их движения. Поэтому наибольшей теплопроводностью обладают вещества с наименьшей молекулярной массой (водород, гелий и др.).

Значения теплопроводности некоторых газов значительно отличаются друг от друга.

Измеряемый газ омывает камеру, в которую помещают проводник. Проводник представляет собой металлическую нить или растянутую спираль, изготовленную из материала с большим температурным коэффициентом электрического сопротивления.

По проводнику проходит ток и нагревает его. Условия теплоотдачи и, следовательно, температура проводника изменяются в зависимости от теплопроводности омывающего его газа. Изменение температуры проводника приводит к изменению его электрического сопротивления.

Однако непосредственное измерение абсолютной теплопроводности газовой смеси является достаточно сложной задачей. В газовом анализе используется другой метод — метод определения относительной теплопроводности. Для этого теплопроводность ана-

лизируемой газовой смеси сравнивается с теплопроводностью эталонного газа.

На рис. 60 представлена принципиальная компенсационно-мостовая схема переменного тока, так называемая схема автоматического компаратора. Она состоит из двух неуравновешенных мостов, один из которых — *А* является рабочим и второй — *Б* — сравнительным.

Рабочий мост состоит из двух камер с нагревательными элементами *RI*, через которые проходит анализируемая газовая смесь. В два других плеча рабочего моста включены элементы *R2*, заполненные газовой смесью, состав которой соответствует нижнему пределу измерения газоанализатора. Плечи сравнительного моста состоят из элементов, заполненных газом, соответствующих верхнему *R3* и нижнему *R2* пределам измерения прибора. Схема питается от двух вторичных обмоток трансформатора *Tr*. В диагональ сравнительного моста включен реохорд. Движок реохорда, часть сопротивления (*l*) и электронный усилитель включены в чувствительную диагональ рабочего моста. Нагрузкой электронного усилителя является реверсивный электродвигатель *Д* привода стрелки вторичного прибора. Определенной концентрации газа соответствует определенное положение стрелки, при котором напряжение в измерительной диагонали рабочего моста уравновешивается напряжением, снимаемым с части реохорда движком. Напряжение на входе усилителя в этом случае равно нулю.

Если концентрация газа в газовой смеси, проходящей через камеры *RI*, изменится, то изменится напряжение в измерительной диагонали рабочего моста, а следовательно, появится сигнал на входе в электронный усилитель, управляющий сигнал с выхода электронного усилителя приведет в движение реверсивный электродвигатель *Д*. Стрелка показывающего прибора и движок реохорда начнут перемещаться. Реверсивный электродвигатель перемещает

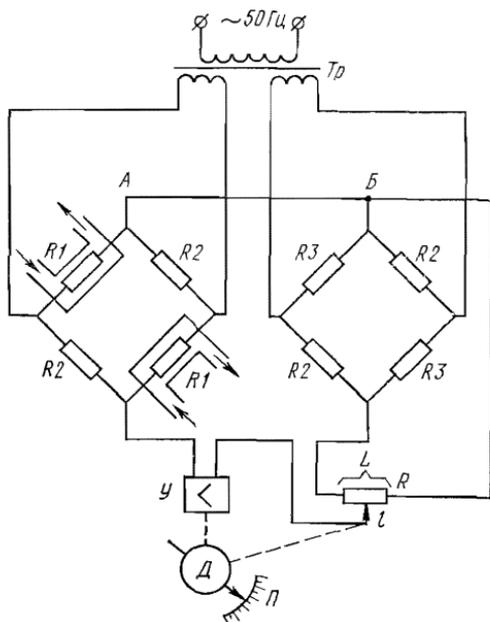


Рис. 60 Схема автоматического компаратора:

Tr — трансформатор, *А* — рабочий мост, *Б* — сравнительный мост, *RI* — нагревательные элементы с анализируемой смесью, *R2* — нагревательные элементы с газовой смесью нижнего предела измерения, *R3* — нагревательные элементы с газовой смесью верхнего предела измерения, *R* — реохорд, *У* — усилитель, *Д* — электродвигатель, *П* — показывающий прибор

движок реохорда до тех пор, пока напряжение в диагонали рабочего моста не уравновесится напряжением на участке l реохорда, т. е. до тех пор, пока не исчезнет сигнал на входе электронного усилителя.

Следовательно, с увеличением напряжения в диагонали рабочего моста U_p должен увеличиться участок l .

Условие равновесия схемы выражается отношением

$$\frac{U_p}{U_c} = \frac{l}{L},$$

где U_c — напряжение сети. Отсюда

$$l = L \frac{U_p}{U_c}.$$

Так как сопротивление участка L и напряжение сети U_c постоянны, сопротивление участка l (положение движка реохорда) пропорционально U_p — напряжению в диагонали рабочего моста или концентрации измеряемого газа в газовой смеси.

Показания газоанализаторов, основанных на методе измерения теплопроводности и подключенных по схеме компоратора напряжения, практически не зависят от изменения напряжения питания и температуры окружающей среды, так как эти изменения одинаково влияют на оба моста схемы.

Чувствительные элементы, образующие плечи мостов газоанализаторов теплопроводности, изготовляют из химически стойких материалов с высоким температурным коэффициентом сопротивления. Чаше других для этих целей используют платиновую проволоку. Подачу анализируемого газа в измерительные камеры производят, в основном, за счет диффузии или конвекции. Эти методы подачи газа не зависят от скорости потока газа и не требуют регулирования его расхода.

Магнитные газоанализаторы. Анализируемые газы могут быть разбиты по магнитной восприимчивости на две группы. Газы первой группы втягиваются в магнитное поле. Такие газы называются *парамагнитными*. О них говорят, что они имеют положительное значение удельной магнитной восприимчивости. Вторая группа газов выталкивается из магнитного поля. Эти газы называются *диамагнитными*. Они обладают отрицательной удельной магнитной восприимчивостью.

В табл. 9 приведены значения магнитной восприимчивости некоторых газов. Из таблицы видно, что только два газа (кислород и окись азота) обладают положительной магнитной восприимчивостью. Смеси газов, в которых встречались бы сразу кислород и окись азота встречаются очень редко. Поэтому, например, величина положительной магнитной восприимчивости дымовых газов может изменяться только за счет изменения содержания кислорода в газовой смеси.

Следует отметить, что магнитные свойства газов резко изменяются с изменением их температуры.

В камере-преобразователе газоанализатора молекулы газа, приближаясь к нагретому телу (нагревательному элементу), частично теряют свои магнитные свойства и выталкиваются из магнитного поля более холодными газами. Так возникают конвекционные потоки (терромагнитная конвекция или «магнитный ветер»), вызывающие охлаждение нагревателя. С увеличением концентрации кислорода в газовой смеси усиливается терромагнитная конвекция и интенсивнее происходит охлаждение нагревательного элемента. Измерение температуры нагревательного элемента вызывает изменение электрического сопротивления резисторов. Резисторы электрических нагревателей собирают в схему компоратора, сигнал которого выдается на показывающий прибор.

В состав промышленного газоанализатора входит приемник, показывающий прибор, жидкостный манометр, керамический фильтр, блок очистки, водоструйный насос, сливной сосуд и фильтр тонкой очистки.

Конструктивно газоанализатор оформлен в виде отдельных узлов, монтируемых на щите.

Показывающий прибор изготавливается на базе электронного автоматического моста и служит для считывания показаний. Шкала прибора градуируется на процентное содержание кислорода по объему. С помощью жидкостного манометра определяют величину разрежения в газовой системе газоанализатора.

Керамический фильтр с газозаборной трубой служит для непосредственного отбора анализируемой среды. Его рекомендуется устанавливать на специальной шунтовой трубе, по которой отводится часть отходящих газов для анализа. Фильтр представляет собой керамическую трубку, через поры которой просачивается газовая смесь.

На рис. 61 показана схема блока очистки. Через патрубок 1 газ по трубке 10 попадает в химический фильтр-камеру 8. Фильтр служит для очистки газовой смеси от сернистого газа. В фильтре находится стальная стружка и некоторый объем воды, через который газ барботирует (просачивается мелкими пузырьками). В нижней части перегородки 7 имеются отверстия, через которые газ попадает в правую (по рисунку) часть камеры. Трубка 6 служит для слива

Таблица 9 Удельная магнитная восприимчивость газов

Газ	Температура, °С	Удельная магнитная восприимчивость
Кислород	20	+106,2
Азот	20	-0,342
Аргон	20	-0,45
Гелий	20	-0,47
Неон	20	-0,33
Аммиак	16	-1,10
Водород	20	-1,97
Двуокись углерода	20	-0,423
Окись азота	22	+48,66
Метан	20	-2,5

конденсата, выпавшего из охлажденного газа. Она опущена в гидрозатвор, поэтому газ через нее выйти не может. По трубке 5 газ еще раз проходит холодильник и отводится через патрубок 2. В холодильник 4 подается охлаждающая вода через патрубок 3. Эта вода омывает прямую и обратную трубки 5 и 10, охлаждая газ. В верхней части холодильника 4 есть патрубок (на рисунке не виден), через который вода отводится.

С помощью фланца 9 химический фильтр крепится к холодильнику. Отпустив болты фланца, можно легко отсоединить химический фильтр.

Водоструйный насос служит для создания разрежения в системе и является побудителем расхода газовой смеси. Его работа основана на принципе эжекции, благодаря которой создается расход газа.

Сливной сосуд представляет собой чашку, в нижнюю часть которой ввернута трубка, служащая для слива конденсата. Сливной сосуд выполняет роль гидрозатвора.

Фильтр тонкой очистки служит индикатором исправности химического фильтра. Основным элементом фильтра является белая фланель, через которую просачивается газовая смесь. Фланель помещена в цилиндрический плоский корпус, имеющий два патрубка. По одному из них под фланель подается газовая смесь, по другому сверху фланели смесь отводится. Сверху фланели смонтировано прозрачное стекло, которое позволяет судить о целостности фильтра.

Таким образом, в общем виде газовая схема газоанализатора представляется следующей. Отбор газа для анализа осуществляется через керамический фильтр, устанавливаемый непосредственно в газоходе котла или в шунтовой трубе. После керамического фильтра газ поступает в блок очистки, в котором последовательно проходит через холодильник, фильтр для очистки газовой смеси от сернистого газа, вторично через холодильник, а затем через фильтр тонкой очистки.

После фильтра тонкой очистки газовая смесь поступает в ячейки рабочей камеры приемника газоанализатора.

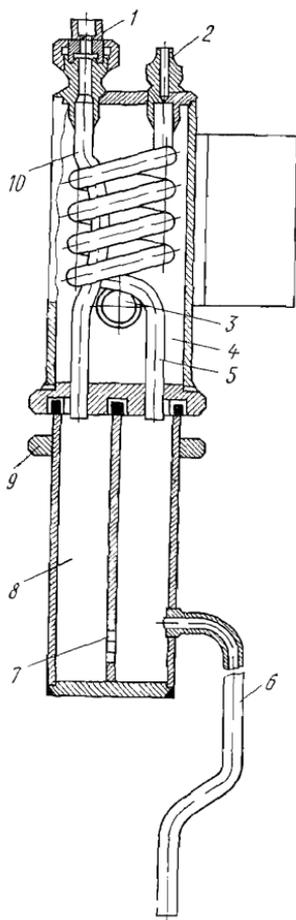


Рис 61. Блок очистки:

1 — патрубок входа газа, 2 — патрубок отвода газа, 3 — вход воды, 4 — холодильник, 5 — обратная газовая трубка, 6 — конденсационная трубка, 7 — перегородка, 8 — химический фильтр, 9 — фланец, 10 — прямая газовая трубка

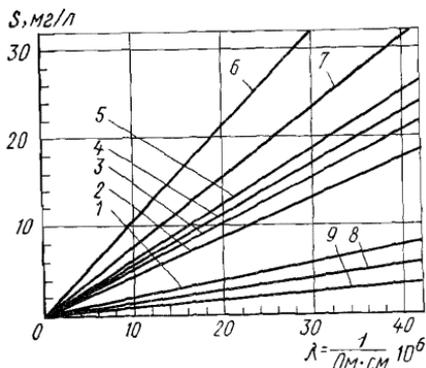
§ 30. Солемеры и рН-метры

На теплоэнергетических установках вода, подаваемая в котлы, подвергается специальной обработке для удаления из нее избытка различных солей.

При испарении воды на внутренних поверхностях котлов, жаровых трубах и трубах пароперегревателя могут образовываться отложения. Эти отложения, обладая низкой теплопроводностью, приводят к тепловому перенапряжению нагревательных поверхностей котлов, что может привести к их пережогу. Пар, поступающий в турбину, может нести с собой соли, которые отлагаются на лопат-

Рис 62. Зависимость удельной электропроводности водных растворов от концентрации:

S — концентрация, мг/л, λ — удельная электропроводность, $\frac{\text{Ом см}}{10^6}$, 1 — NaOH, 2 — Na₂CO₃, 3 — NaCl, 4 — KCl, 5 — Na₂SO₄, 6 — NaHCO₃, 7 — NaNO₃, 8 — H₂SO₄, 9 — HCl



ках турбин. Это приводит к снижению мощности турбин и снижению экономичности их работы. Возрастают осевые усилия, действующие на ротор турбины, что вызывает преждевременный износ упорных подшипников и осевой сдвиг ротора.

В процессе обработки воды, в цикле водоподготовки, а также для контроля качества воды, участвующей в технологическом процессе теплоэнергетической установки, применяются приборы, называемые *солемерами*.

Принцип работы солемеров основан на зависимости величины электропроводности водного раствора соли от концентрации раствора.

На рис. 62 показано изменение удельной электропроводности электролитов в зависимости от соледержания.

Из графика видно, что удельная электропроводность раствора прямо пропорциональна его концентрации. Эта зависимость используется в солемерах. В одно из плеч моста электрической схемы солемера включается измерительная ячейка, представляющая два электрода, опущенных в подвергающийся контролю раствор. Изменение сопротивления раствора приводит к нарушению равновесия моста. Сигнал разбаланса моста подается на электронный усилитель, на выходе которого подключен реверсивный электродвигатель, связанный со стрелкой показывающего прибора и движком реохорда, компенсирующего ток разбаланса моста.

Удельная электропроводность растворов, а следовательно, и сопротивление измерительной ячейки в значительной степени зависят не только от концентрации раствора, но и от его температуры. С повышением температуры подвижность ионов, а следовательно, и электропроводность раствора возрастают.

При изменении температуры раствора на 10° С удельная электропроводность его изменяется примерно на 25%, т. е. концентрация может быть определена с погрешностью в 25%.

Устранение влияния температуры контролируемой среды достигается применением температурной компенсации в электрической схеме солемера.

Для осуществления температурной компенсации используется свойство равновесного моста — при равенстве произведений сопротивлений противолежащих плеч равновесие моста сохраняется. Поэтому в плечо моста, смежное с плечом, в которое включена измерительная ячейка, включается терморезистор. Сопротивление терморезистора изменяется в зависимости от температуры по закону, обратному закону изменения сопротивления измерительной ячейки преобразователя при изменении температуры. Такая схема позволяет сохранить равновесие моста, так как произведение сопротивлений противоположных плеч с изменением температуры не меняется.

При изменении концентрации раствора, находящегося между электродами ячейки, может происходить разложение (электролиз) раствора. Для устранения этого явления равновесный мост питается переменным током.

Качество питательной воды характеризуется не только содержанием. Большое значение имеет кислотность или щелочность воды. Повышенная кислотность приводит к ускоренной коррозии трубопровода. В процессе докотловой обработки воды контроль щелочности и кислотности воды позволяет дозировать реагенты, способствующие очистке воды.

Для измерения кислотности и щелочности растворов применяются специальные приборы, называемые рН-метрами.

Как известно, чистая вода диссоциирует на ионы водорода и ионы гидроксидов. Ионы водорода имеют положительный заряд, а ионы гидроксидов отрицательный. В целом молекула воды электрически нейтральна.



Концентрация грамм-ионов водорода и гидроксидов в целом в чистой воде одинакова

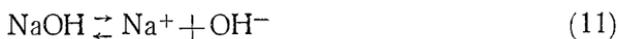


Произведение этих двух величин как для чистой воды, так и для растворов является величиной постоянной



Кислоты и щелочи в водных растворах также диссоциируют: кислоты на ионы водорода и анионы кислотного остатка, а щело-

чи — на катионы металла и ионы гидроксила. Например, $\text{HCl} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{Cl}^-$



Из приведенных уравнений видно, что количество ионов водорода с увеличением концентрации кислоты в растворе повышается. Количество ионов гидроксила в растворе повышается с увеличением концентрации щелочи.

Увеличение концентрации ионов гидроксила приводит к уменьшению концентрации ионов водорода.

При растворении кислот, щелочей и солей в воде образуется большое количество положительных и отрицательных ионов. В результате электростатического взаимодействия ионов с противоположными зарядами часть из них соединяется в ионные пары, поэтому в каждый момент некоторая часть ионов не активна.

В разбавленных растворах силы взаимодействия между ионами очень малы, поэтому можно считать, что в таких растворах активность ионов водорода равна их концентрации. В качестве меры активности ионов водорода принята величина рН. Для чистой воды при температура 22° С рН=7.

Кислотность растворов повышается по мере уменьшения величины рН, а щелочность увеличивается по мере увеличения рН.

Изменение величины рН на одну единицу соответствует десятикратному изменению активности кислоты или щелочи. Например: раствор с рН=3 в 10 раз активнее раствора с рН=4.

Величина рН определяет активность ионов водорода в растворе, а не содержание кислоты или щелочи. Это подтверждается тем обстоятельством, что в химически нейтральной воде с увеличением температуры воды величина рН уменьшается, потому что в нагретой воде увеличивается число диссоциирующих молекул и возрастает концентрация ионов водорода.

Этим же объясняется значительное уменьшение рН щелочных растворов с увеличением температуры, хотя количество щелочи, растворенной в воде, остается неизменным.

Преобразователи рН-метров представляют собой специальные электроды, в которых создается электродвижущая сила, пропорциональная активности ионов водорода в растворах. На рис. 63 изображена схема работы таких преобразователей.

Активным электродом рН-метра является стеклянный электрод 2, имеющий на конце припаянный полый шарик 1 из специального стекла. Внутренняя полость шарика заполнена раствором с постоянной и известным значением рН.

При погружении электрода в испытуемый раствор между поверхностью стекла и раствором происходит обмен ионами, в результате которого одновалентные ионы натрия или лития в поверхностных слоях стекла замещаются ионами водорода. Этот обмен идет до установления равновесия и приводит к возникновению потенциала, величина которого определяется активной концентрацией ионов водорода. Таким образом на внутренней и наружной

поверхностях соприкосновения стеклянного шарика с растворами возникают потенциалы, величины которых зависят от концентрации водородных ионов и температуры раствора.

Для создания электрической цепи при измерении эдс внутри стеклянного электрода вставлен вспомогательный контактный электрод 3, который служит для снятия потенциала с внутренней

поверхности стеклянного шарика. Контактный электрод выполняется из серебряной проволоки. Внешний электрод (электрод сравнения) 4 осуществляет электрический контакт с контролируемым раствором. Потенциал электрода сравнения всегда постоянен и не зависит от концентрации раствора.

Для уменьшения погрешности за счет изменения температуры контролируемого раствора электрод сравнения помещают вне контролируемого раствора и соединяют с ним с помощью электролитического ключа 5 — трубки, заполненной насыщенным раствором хлористого калия и заканчивающейся пористой перегородкой 6. Раствор хлористого калия непрерывно протекает через пористую перегородку (10—30 мл/сут), предотвращая проникновение в систему

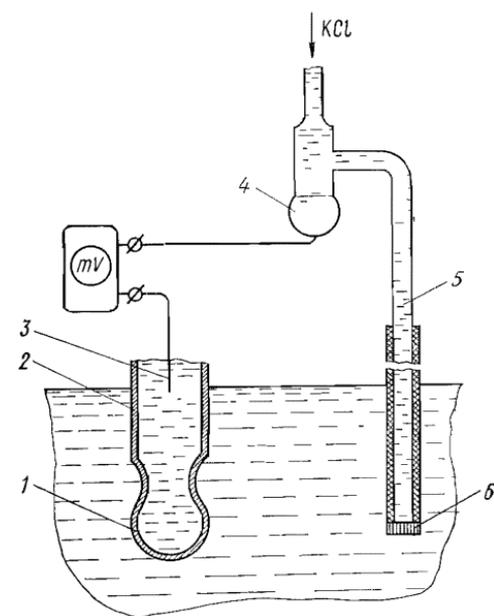


Рис. 63. Электродная система со стеклянным электродом для измерения рН:

1 — мембрана стеклянного электрода, 2 — корпус стеклянного электрода; 3 — внутренний контактный электрод, 4 — электрод сравнения, 5 — электролитический ключ, 6 — пористая перегородка

му вспомогательного электрода посторонних ионов, которые могли бы изменить величину эдс этого электрода, и создавая четкую границу между контролируемым раствором и раствором хлористого калия.

Так как измерительный ток на своем пути должен проходить через стенки стеклянного преобразователя, его величина чрезвычайно мала, а сопротивление измерительной цепи в промышленной практике очень высоко и достигает 1000 МОм.

Большая величина сопротивления стеклянных электродов требует надежной изоляции самих электродов и соединительной проводки, а также конструирования усилителя с большим входным сопротивлением.

Для измерения малых эдс преобразователей рН-метров применяют компенсационные схемы. В этих схемах эдс преобразователя

компенсируется напряжением на выходе усилителя. Такая схема показана на рис. 64. Усиление происходит на переменном токе. Для этого на входе усилителя стоит преобразователь постоянного тока в переменный. Так как компенсация эдс преобразовательного элемента производится постоянным током, то на выходе усилителя стоит преобразователь переменного тока в постоянный.

Электродвижущая сила преобразовательного элемента E_x сравнивается с падением напряжения на резисторе R , которое по знаку противоположно электродвижущей силе E_x . На вход усилителя подается напряжение

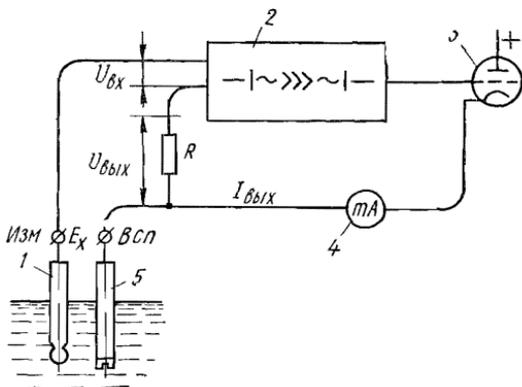


Рис. 64. Схема измерения эдс преобразователей рН-метра:

1, 5 — электроды преобразователя рН-метра, 2 — электронный усилитель, 3 — усилитель мощности, 4 — миллиамперметр

$$U_{\text{вх}} = E_x - U_{\text{вых}} = E_x - I_{\text{вых}} R,$$

где $U_{\text{вх}}$ — напряжение на входе усилителя; E_x — эдс преобразовательного элемента; $U_{\text{вых}}$ — падение напряжения на резисторе R .

Если обозначить коэффициент усиления электронного усилителя через K , то

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} K = (E_x - U_{\text{вых}}) K = (E_x - I_{\text{вых}} R) K;$$

$$E_x = U_{\text{вых}} \frac{K+1}{K} = I_{\text{вых}} R \frac{K+1}{K} \approx I_{\text{вых}} R.$$

Отсюда видно, что при достаточно большом коэффициенте усиления K , когда множитель $\frac{K+1}{K}$ близок к единице, можно сделать следующие выводы:

1. Выходное напряжение усилителя может компенсировать эдс преобразовательного элемента, так как разница между ними очень мала.

2. Ток, протекающий через сопротивление резистора, характеризует эдс.

Для того чтобы изменение температуры раствора не влияло на величину показаний прибора, применяется температурная компенсация. Прибор может быть снабжен ручным или автоматическим термокомпенсатором. Автоматический термокомпенсатор требует прокладки дополнительных кабельных линий для соединения усилителя прибора с термометром сопротивления, измеряющим темпе-

ратуру раствора. Кроме того, надежность всей установки снижается, так как появляется дополнительный узел (измерение температуры).

Поэтому там, где температура контролируемого раствора изменяется медленно (например, колебания температуры зависят от сезонов времени года), или там, где величина рН контролируемого раствора близка к значению рН изопотенциальной точки электродной системы, применяется ручная температурная компенсация.

Изопотенциальной точкой называется точка, в которой пересекаются все линии, выражающие зависимость эдс преобразовательного элемента от величины рН раствора. Эти линии представляют собой прямые, расходящиеся под разными углами из изопотенциальной точки. Каждая линия соответствует своей температуре. Изопотенциальная точка является характерной для данной системы электродов.

Принцип температурной компенсации заключается в том, что в схему измерения включается резистор, сопротивление которого имеет температурный коэффициент, равный крутизне характеристики электродной схемы.

При выборе электродной системы надо стремиться к тому, чтобы изопотенциальная точка выбранных электродов лежала близко к контролируемой величине рН раствора. В этом случае погрешности от изменения температуры раствора значительно уменьшаются даже без применения температурной компенсации.

Стеклянные измерительные и вспомогательные электроды рН-метров монтируются в специальную конструкцию, образующую преобразователь рН-метра. Преобразователь может быть погружного или проточного типа. Преобразователи погружного типа служат для измерения величины рН растворов в баках при атмосферном давлении. Проточными преобразователями измеряют протекающие растворы. Эти преобразователи не приспособлены для непосредственной установки на трубопроводе из-за возможности проникновения измеряемой среды, находящейся под давлением выше атмосферного, во вспомогательный электрод. Поэтому измеряемая среда подводится по трубке, присоединенной к основному трубопроводу, и выходит из преобразователя через сливную трубку.

В комплект преобразователей входит компенсатор, служащий для ручной регулировки и обеспечивающий взаимозаменяемость при разбросе характеристик выбираемых электродов. Компенсатор представляет собой устройство, создающее дополнительное напряжение, включаемое последовательно с эдс электродной системы.

§ 31. Особенности эксплуатации и монтажа приборов физико-химического анализа

Газоанализаторы. Эксплуатация газоанализаторов требует соблюдения ряда условий, предъявляемых как к самому прибору, так и к газовой смеси, подаваемой на анализ.

Температура газа на входе в прибор должна быть от 10 до 35° С.

Для магнитных газоанализаторов на кислород при измерении содержания кислорода в продуктах горения температура в месте отбора газа может быть в пределах от 200 до 600° С.

Газ, поступающий в газоанализатор, не должен содержать масел, капельно-жидкой влаги и механических примесей. Все эти компоненты мешают работе газоанализаторов, способствуют повышенной коррозии, забивают импульсные трубки, фильтры и другие части прибора.

Все участки газовой линии должны быть расположены таким образом, чтобы обеспечивался сток конденсата в конденсационный сосуд или другие узлы схемы, из которых влага может быть легко удалена.

Помещение, в котором устанавливается прибор, должно иметь определенный микроклимат. Прибор не может работать в помещении, где температура воздуха понижается ниже +5° С или повышается выше +50° С. При очень низкой температуре в частях прибора может выпадать и замерзать конденсат. Масло, которым смазаны движущиеся части прибора, может застыть. При очень высокой температуре может наступить перегревание элементов схемы электронного усилителя и двигателя вторичного прибора.

Колебание напряжения питания допускается не более, чем на 10% выше и 15% ниже номинального. Желательно стабилизировать напряжение питания. В некоторых типах газоанализаторов требуется дополнительный подвод сжатого воздуха. Этот воздух должен быть сухим и чистым с давлением не менее 1 кгс/см² (98 кПа).

Особого внимания требует установка прибора во взрывоопасном помещении. В этом случае прежде всего необходимо убедиться, что категория прибора соответствует категории помещения. Категория взрывоопасности прибора выбивается в виде букв и цифр на корпусе и указывается в документах на прибор.

Преобразователи, электронный блок, устройства подготовки пробы, а также обвязку преобразователя, как правило, монтируют на специальном щите, который необходимо устанавливать возможно ближе к месту отбора пробы. Место установки щита должно хорошо просматриваться и быть доступным для управления и ремонта.

Большое внимание должно быть уделено ликвидации запаздывания показаний прибора.

Инерционность прибора прямо пропорциональна объему подводящих трубок, общей их длине и давлению газа и обратно пропорциональна расходу газа на пробу. Уменьшение времени запаздывания прежде всего может быть достигнуто за счет сокращения длины подводящих трубок.

Газоподводящие линии чаще всего выполняют стальными бесшовными трубками из углеродистых и легированных сталей или медными трубками. Внутренний диаметр трубок от 6 до 10 мм, толщина стенок 1—2 мм.

В последнее время все большее распространение находят пластмассовые трубки из винипласта или полиэтилена, а также резиновые трубки с внутренним диаметром 8 мм и толщиной стенок 1,25 мм.

Вся система газовых и гидравлических коммуникаций должна пройти испытания на прочность и герметичность.

В газоанализаторах, в которых применяются водоструйный насос, надо следить, чтобы он не засорялся. О засорении свидетельствует прекращение или резкое уменьшение слива воды из насоса. Чтобы насос не засорялся частицами окалин, рекомендуется каждый раз после длительной остановки системы промывать водопроводную линию до насоса.

При разрушении фланели в фильтре тонкой очистки, свидетельствующем о том, что отработалась железная стружка в фильтре для очистки от сернистого газа, следует заменить стружку и фланель.

Термоэлементы измерительной камеры магнитного газоанализатора должны обладать одинаковыми электрическими характеристиками. Поэтому в случае выхода из строя одного из них, необходимо заменить оба термоэлемента парой, полученной с завода, изготовляющего эти приборы.

Кроме того, в процессе эксплуатации газоанализатора необходимо:

1. Проверять раз в сутки (по манометру) и при необходимости корректировать разрежение и расход анализируемой газовой смеси.

2. Через двое суток проверять и корректировать нуль газоанализатора.

3. Проверять один раз в семь суток герметичность системы по манометру.

4. Проверять и корректировать один раз в пятнадцать суток чувствительность газоанализатора, используя для этого контрольный анализ воздуха или сравнивая с показаниями химического лабораторного прибора.

В процессе эксплуатации необходимо следить за тем, чтобы в сливном сосуде постоянно находилась вода для затвора.

Если регулировочным вентилем не удастся уменьшить разрежение при заданном сопротивлении газовой системы, необходимо продуть керамический фильтр. Для продувки следует отвернуть накидную гайку у керамического фильтра и вместо ниппеля подсоединить баллон со сжатым воздухом или азотом. Продувка производится при давлении $0,5 \text{ кгс/см}^2$ (49 кПа).

Если продуть фильтр при этом давлении не удастся, то следует вынуть газозаборное устройство и заменить фильтр новым. Фильтр может быть восстановлен путем обжига при температуре 600—700° С.

Солемеры. При установке солемеров надо соблюдать общие правила, относящиеся к монтажу трубопроводов. Трубопроводы должны быть продуты и промыты, места стыковки тщательно уплотне-

ны. Особое внимание необходимо уделить подгонке сопротивлений внешних линий с помощью подгоночных резисторов.

pH-метры. Между преобразователем pH-метра и прибором прокладывается коаксиальный кабель РК. Замена коаксиального кабеля другим не разрешается. Монтаж коаксиального кабеля осуществляется в стальных трубах, обеспечивающих защиту его при эксплуатации. При прокладке труб следует, по возможности, избегать изгибов, так как при затягивании кабеля в трубу он может быть легко поврежден.

Соединительные линии прибора должны быть проверены на герметичность и сопротивление изоляции, которое для каждой линии указывается в «Инструкции на эксплуатацию и монтаж» прибора. Например, сопротивление изоляции экрана коаксиального кабеля должно быть не менее 500 МОм.

В наиболее распространенном приборе рН-261 осуществляется раздельное заземление схемы и корпуса. Схема прибора должна быть заземлена в непосредственной близости от места установки чувствительного элемента, а корпус должен быть заземлен в месте его установки. Поэтому от схемы прибора, помещающейся в корпусе, должен быть протянут специальный заземляющий проводник к месту установки преобразователя.

Показывающий прибор обычно монтируется на панели щита и щит обязательно заземляется.

Кабель от кабельной коробки, устанавливаемой в непосредственной близости от преобразователя, подводится к головке преобразователя в металлорукаве. Металлорукав необходимо тщательно закрепить. Перемещение металлорукава при вибрациях оборудования может вызвать колебания стрелки прибора из-за пьезоэлектрического эффекта в изоляции коаксиального кабеля. Расстояние от разъема преобразователя до ближайшей точки крепления должно быть около 1—1,5 м. Преобразователи рассчитаны для работы в помещениях или на открытом воздухе при температуре от 5 до 60° С и относительной влажности до 90%.

Контрольные вопросы

1. Почему контроль коэффициента избытка воздуха легче всего осуществлять по кислороду?
2. Объясните схему работы автоматического компоратора.
3. Что такое термомагнитный ветер?
4. Что такое изопотенциальная точка?
5. Для чего нужен электролитический ключ?
6. Каким кабелем монтируется линия связи между преобразователем и прибором pH-метра?
7. Что такое солемер?
8. Как определить засорение водоструйного насоса?
9. Как проверить чувствительность газоанализатора?

ПОКАЗЫВАЮЩИЕ ВТОРИЧНЫЕ ПРИБОРЫ

Показывающие вторичные приборы служат для выноса показаний преобразователей с места измерения в другое место — на щит оператора, центральный диспетчерский щит и т. д.

Вторичные приборы представляют собой металлический или пластмассовый корпус, в который заключены отдельные узлы прибора, связанные между собой электрическими и механическими связями.

В целом структурная схема прибора состоит из следующих частей: отсчетного устройства, блока измерения, блока усиления.

Блок измерения служит для приема сигналов преобразователя. Название вторичного прибора часто определяется именно блоком измерения. Так, для измерения сигнала преобразователей температуры применяются потенциометры, милливольтметры, пирометры, логометры и мосты. У всех у них различная измерительная часть.

Назначение блока усиления — усилить сигнал до величины, позволяющей привести в действие двигатель показывающего механизма прибора. Как правило, это электронный усилитель переменного тока. Поэтому в приборах, у которых от преобразователя поступает сигнал постоянного тока (потенциометры, вторичные приборы системы ГСП с сигналом 0—5; 0—20 мА и др.), электронный усилитель имеет преобразователь постоянного тока в переменный.

Электронные усилители показывающих приборов могут быть ламповыми или транзисторными. В моделях приборов последних лет в большинстве случаев применяются транзисторные усилители. Усилители большинства приборов унифицированы и являются готовым изделием, взаимозаменяемым в данном типе приборов.

Назначение отсчетного устройства — показывать с помощью стрелки и шкалы измеряемую величину.

В состав вторичного прибора часто помещают дополнительные преобразовательные элементы и сигнализирующие устройства. Дополнительные преобразовательные элементы позволяют передавать усиленный или преобразованный сигнал на дополнительные вторичные приборы или регуляторы. Сигнализирующие устройства привлекают внимание оператора или диспетчера к контрольным или выходящим за пределы нормы показаниям прибора. Кроме того, сигнализирующие устройства часто применяются как простейшие позиционные регуляторы.

Существуют модификации вторичных приборов, измеряющих расход, в которые встраивается интегратор, подсчитывающий расход за определенное время. Схема работы интегратора описана в гл. IV.

§ 32. Отсчетные устройства

Показывающие циферблаты приборов бывают весьма разнообразны. Большое количество приборов, преимущественно старых конструкций, имеют показывающую часть, представляющую собой

круглый циферблат по типу часового с центральной стрелкой. Многие приборы выпускают с горизонтальной или вертикальной шкалой, представляющей собой линейку с нанесенной на нее оцифровкой. Вдоль шкалы скользит стрелочный указатель, останавливаясь против цифры, показывающей величину измеряемого параметра.

По показывающей части приборы подразделяются на просто показывающие и на показывающие и регистрирующие.

В показывающих и регистрирующих приборах кроме показывающей части монтируется записывающая часть. В приборах с круговой шкалой (рис. 65) специальным двигателем приводится в движение круглый диск, на который крепят круговую диаграмму 1. Диаграмму изготовляют из бумаги, на которую нанесены концентрические линии 2 и радиальные линии 3. Записывающее перо 4 одновременно является и показывающим устройством.

Каждая линия 2 показывает величину измеряемого параметра, а линия 3 — часы суток. На каждой линии 2 нанесены шифры единиц измерения, а на линиях 3 — порядковые цифры от 1 до 24. Двигатель диаграммы делает один оборот за 24 ч. Перо записывающего устройства оставляет след, показывающий изменение параметра за прошедшее время. Чем дальше от центра проходит записанная линия, тем большая величина параметра была во время, указанное на радиальной линии 3 соответствующей точки записи. Линии 3 изогнуты в сторону, противоположную движению диаграммы (диаграмма движется по часовой стрелке), в связи с тем что линейная скорость точек, находящихся на различном расстоянии от центра, различна.

В приборах с прямолинейной шкалой монтируют ленточную диаграмму, а записывающее устройство соединено со стрелкой шкалы.

Ленточная диаграмма представляет собой бумажную ленту, на которой продольными линиями нанесены величины измеряемого параметра, а поперечными — время измерения.

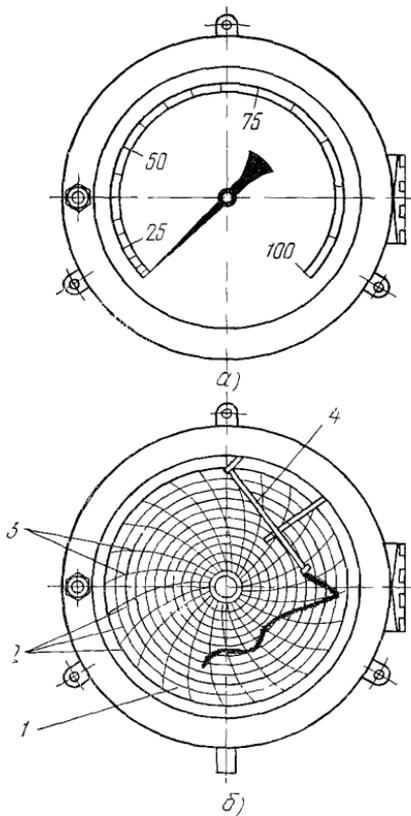


Рис. 65. Вторичные приборы с круглым циферблатом.

a — показывающий, *б* — регистрирующий;
1 — круговая диаграмма, *2* — линии величин параметра, *3* — линии часов суток,
4 — записывающее перо

Такие ленточные диаграммы рассчитаны на время работы более суток. Есть недельные и даже месячные диаграммы. Кроме того, в конструкции приборов с ленточной диаграммой, как правило, предусматриваются редуцирующие устройства, позволяющие получать различные скорости движения ленты. Следовательно, при разных скоростях одни и те же расстояния между поперечными линиями ленты будут показывать различное время.

Наша промышленность выпускает приборы с ленточной диаграммой, не наматывающейся на валики, а складывающейся в гармонику.

Есть модификации приборов с ленточной диаграммой (чаще всего это приборы измерения и записи температуры), в которых происходит измерение многих точек, т. е. сигнал поступает поочередно от нескольких преобразователей. Запись ведется чернилами разных цветов или линиями разного кода, например сплошная, пунктирная, штрихпунктирная и т. д. Такие приборы называют *многоточечными*.

Приборы с ленточной диаграммой удобнее, так как позволяют менять диаграмму гораздо реже, чем в дисковых приборах. Кроме того, ленточная диаграмма нагляднее показывает характер процесса за более продолжительный период.

§ 33. Логометры

Логометры используются для измерения температуры и работают в комплексе с термометрами сопротивления. На рис. 66, *а* изо-

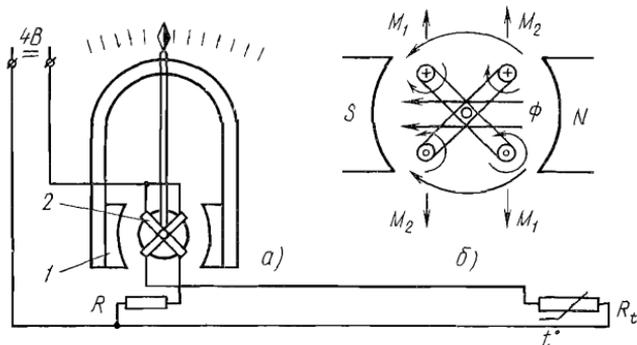


Рис. 66. Принципиальная упрощенная схема логометра (*а*) и схема взаимодействия магнитных потоков (*б*):
 1 — постоянный магнит, 2 — токовые рамки, R_t — термометр сопротивления, R — резистор, N , S — полюса постоянного магнита, M_1 , M_2 — моменты, развиваемые рамочками

бражена принципиальная упрощенная схема логометра постоянного тока магнитоэлектрической системы.

В магнитном поле полюсов постоянного магнита I помещены две токовые рамки, закрепленные на одной оси. Рамки укреплены на сердечнике из магнитопроводного железа под углом друг к дру-

гу. В разных типах логометров этот угол может быть разным. Центр окружности, описывающей каждый полюсный башмак магнита, не совпадает с центром окружности сердечника рамок. Поэтому зазор между сердечником рамок и полюсами магнита неравномерный. Зазор в горизонтальной оси, проходящей через центр сердечника, минимальный, к концам полюсных башмаков зазор расширяется. Такая конфигурация полюсам магнита придана для того, чтобы напряженность магнитного поля в воздушном зазоре была неравномерной. Максимальная напряженность создается по горизонтальной оси, проходящей через центр сердечника.

При отклонении от горизонтальной оси и переходе к вертикальной напряженность падает.

К сердечнику, на котором намотаны рамки, прикреплена стрелка,двигающаяся вдоль показывающей шкалы. Рамки питаются током от источника постоянного тока напряжением 4 В. В цепь одной из рамок включено постоянное сопротивление R , а в цепь другой — переменное сопротивление R_t термометра сопротивления, которое изменяется в зависимости от температуры. Ток, проходящий через рамки, создает магнитный поток, взаимодействующий с магнитным потоком постоянного магнита (рис. 66, б). Как видно из рисунка, силы взаимодействия таковы, что в каждой рамочке создается момент, стремящийся повернуть рамку. Рамка, в цепь которой включено сопротивление R , стремится повернуться по часовой стрелке, а рамка, в цепь которой включено сопротивление R_t — против.

Величина момента каждой рамочки зависит от напряженности магнитного поля, в котором она находится, и от силы тока, проходящего по рамочке:

$$M_1 = C_1 H_1 I_1, \quad M_2 = C_2 H_2 I_2, \quad (12)$$

где M_1 и M_2 — моменты, развиваемые рамками; H_1 и H_2 — напряженность магнитного поля рамочек; I_1 и I_2 — токи в рамочках; C_1 и C_2 — коэффициенты пропорциональности.

Если сопротивление термометра сопротивления равно сопротивлению резистора R , то токи, проходящие по обеим рамочкам, одинаковы. Момент M_1 равен моменту M_2 и рамочки находятся в равновесии, стрелка прибора находится на нуле.

Представим, что температура измеряемой среды возросла, тогда сопротивление термометра увеличится и сила тока в цепи рамочки с терморезистором уменьшится. Это приведет к тому, что момент M_2 , развиваемый рамочкой, в цепи которой находится термометр, станет меньше момента M_1 второй рамочки и сердечник начнет поворачиваться по часовой стрелке. Следовательно, стрелка логометра пойдет по шкале вправо.

Рамочка, в цепи которой стоит резистор R , при повороте сердечника начнет выходить из зоны сильного магнитного поля в зону ослабленного поля, а рамочка, в цепи которой находится термометр сопротивления, наоборот, будет входить во все более усиливающееся поле.

Вследствие изменения напряженности поля момент M_1 будет уменьшаться, а момент M_2 — увеличиваться. Когда момент M_2 станет равным моменту M_1 , сердечник остановится.

В соответствии с уравнениями (12)

$$C_1 H_1 I_1 = C_2 H_2 I_2,$$

откуда

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{C_2 H_2}{C_1 H_1} = C \frac{H_2}{H_1}. \quad (13)$$

Каждому положению рамок соответствует своя напряженность магнитного поля в зазоре сердечника, поэтому угол поворота сердечника пропорционален отношению напряженности и токов рамок:

$$C = \frac{H_2}{H_1} = \frac{I_1}{I_2} = f(\alpha), \quad (14)$$

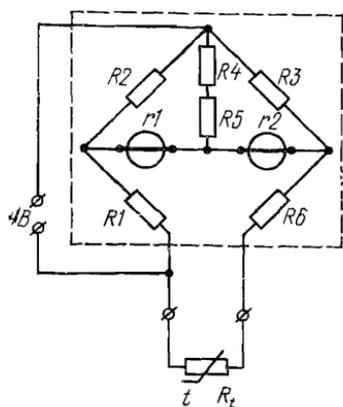


Рис 67. Принципиальная электрическая схема логометра ЛМ-06.

r_1, r_2 — рамки логометра, R_1 — R_4 — переменные катушки для подгонки логометра, R_2 и R_3 — постоянные катушки, R_5 — постоянная катушка с медным проводом для компенсации изменения температуры, R_t — термометр сопротивления

Таким образом, угол отклонения стрелки будет пропорционален изменению сопротивления термометра или температуре измеряемой среды. Это позволяет шкалу логометра градуировать непосредственно в градусах.

Логометры проградуированы на определенный тип термометра сопротивления. Так как колебание тока, вызванное изменениями напряжения питающей сети, отражается на обеих рамках, то теоретически эти изменения не должны сказываться на результатах измерения. Практически же в результате трения в опорах и неидентичности пружин, по которым подводится ток к рамочкам, колебания сети несколько отражаются на работе логометра.

Принципиальная электрическая схема промышленных логометров отличается от описанной выше тем, что для увеличения чувствительности прибора

эталонный резистор R_6 и сопротивление термометра R_t собраны в схему моста (рис. 67), в диагональ которого включены подвижные рамочки прибора r_1, r_2 .

В схему прибора кроме постоянных сопротивлений R_2 и R_3 включены резисторы R_1 и R_4 , служащие для подгонки параметров логометра. Резисторы R_1 и R_4 представляют собой катушки, намотанные манганиновым проводом. Подгонку осуществляют изменением числа витков катушки. Резистор R_5 наматывается медным проводом и служит для компенсации изменений температуры окружающей среды.

Источником постоянного тока логометра служит понижающий трансформатор с двухполупериодным выпрямителем. К одному логометру можно подключить несколько термометров сопротивления одинаковой градуировки. Подключение осуществляется с помощью щеточного переключателя.

§ 34. Мосты

Для точных измерений температуры с помощью термометров сопротивлений служат показывающие приборы, основанные на мостовой схеме измерения. Точность показаний логометров обычно $\pm 2\%$. Точность измерения мостами $\pm 1\%$ и доходит до $\pm 0,25\%$.

Мосты, так же как и логометры, градуируются на определенный тип термометра сопротивления. Существуют два типа мостовых схем: уравновешенные и неуравновешенные.

Принципиальная схема измерения мостовым методом для случая уравновешенного моста приведена на рис. 68. Два плеча моста собираются из резисторов постоянного сопротивления $R1$ и $R2$. Два других плеча моста: переменный резистор R и термометр сопротивления R_t . По резистору R скользит движок, изменяющий величину сопротивления, включенного в схему. На вершины моста подается напряжение от батареи E или от источника постоянного тока. В диагональ моста к точкам a и b подключается прибор, называемый нуль-органом или нуль-прибором. Рассмотрим условия равновесия моста, т. е. положение, когда через нуль-прибор ток не течет.

При равновесии моста потенциал точек a и b должен быть одинаков. Ток от батареи в точке 1 разветвляется в левую и правую часть моста. В левой части моста ток батареи проходит по резисторам $R2$, $R1$, а в правой — через сопротивление r_2 резистора R и термометр сопротивления R_t .

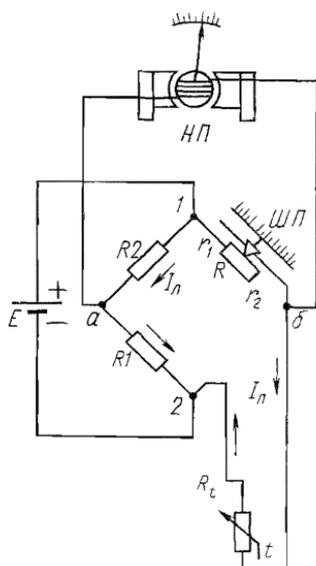


Рис. 68 Принципиальная схема работы уравновешенного моста

E — батарея, $R1$, $R2$ — резисторы постоянного сопротивления, R — резистор переменного сопротивления, R_t — термометр сопротивления, HP — нуль-прибор, $ШП$ — показывающая шкала

$$U_{1-a} = I_{л} R2; U_{1-b} = I_{п} r_1, \quad (15)$$

$$U_{a-2} = I_{л} R1; U_{b-2} = I_{п} R_t, \quad (16)$$

где $I_{л}$ — ток левой ветви моста, A ; $I_{п}$ — ток правой ветви моста, A ; U_{1-a} , U_{1-b} , U_{a-2} , U_{b-2} — падение напряжения между соответствующими точками моста, B .

Для того чтобы потенциал точек a и b был одинаков, надо соблюсти равенства

$$U_{1-a} = U_{1-b} \text{ и } U_{a-2} = U_{b-2}.$$

Таким образом, если приравнять правые части уравнений (15) и (16), а затем уравнения поделить друг на друга, то получим

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_t}{r_1}$$

и, следовательно,

$$R_1 r_1 = R_t R_2. \quad (17)$$

Это основное уравнение уравновешенного моста.

Для того чтобы в диагонали моста отсутствовало напряжение и через нуль-прибор не протекал ток, необходимо, чтобы произведения сопротивлений противолежащих плеч были равны друг другу.

Если изменяется сопротивление термометра сопротивления R_t , то движок резистора R должен быть передвинут и величина r_1 изменена так, чтобы равенство (17) осталось в силе.

Движок резистора R , соединенный со стрелкой шкалы прибора *ШП*, может показывать непосредственно изменение температуры.

В автоматических мостах вместо нуль-прибора устанавливается электронный усилитель, на выход которого подключен реверсивный электродвигатель. Двигатель перемещает стрелку шкалы и одновременно движок реохорда до тех пор, пока на входе усилителя не исчезнет напряжение.

Компенсация сигнала в нуль-приборе или на входе усилителя может осуществляться не только изменением сопротивления в одном из плеч моста, но и другим способом, например встречной эдс преобразователя напряжения, включенного последовательно с источником сигнала на вход усилителя. Такая схема применена в автоматических мостах МФС и МФП с ферродинамическим компенсатором.

Принцип действия прибора основан на автоматической безреохордной компенсации выходного напряжения неравновесного моста с использованием в качестве уравновешивающего устройства ферродинамического преобразователя ПФ.

В мостах МФП имеется шкала для непосредственного отсчета показаний. В мостах МФС — диаграммное и записывающее устройство.

Схема моста МФС показана на рис. 69.

Чувствительный мост образовывается резисторами с калиброванными сопротивлениями R_2, R_3, R_4 и сопротивлением термометра сопротивления R_t . Термометр сопротивления подключается через контрольную кнопку *Кн*, которая позволяет опробовать мост на эталонные сопротивления R_1, R_5, R_6 . Упрощенная схема измерительной части моста изображена на рис. 70.

Питание моста осуществляется от специальной обмотки *П* преобразователя ПФ (см. гл. II), который подключен к вершинам моста v и g . Мост образован из резисторов постоянного сопротивления

R_2, R_3, R_4 и переменного сопротивления термометра сопротивления R_t .

В другую диагональ моста к точкам a и b подключена поворотная рамочка $ПР$ ферродинамического преобразователя $ПФ$.

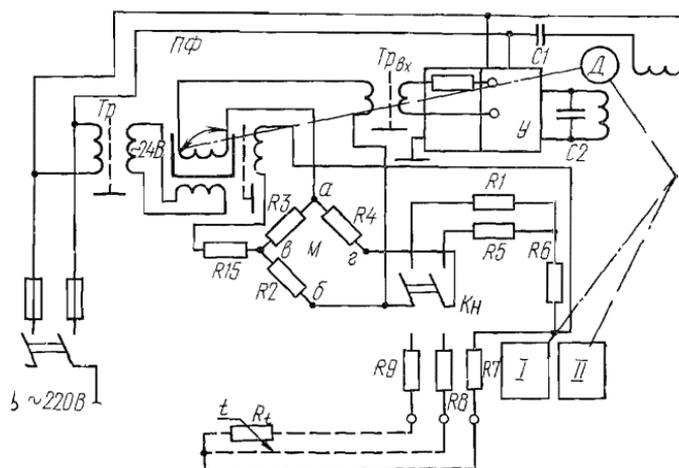


Рис. 69. Принципиальная схема моста МФС:

M — мост, D — асинхронный двигатель, U — полупроводниковый усилитель, $Tr_{вх}$ — входной трансформатор, Tr — трансформатор, R_2-R_4 — калиброванные сопротивления, R_7-R_9 — подгоночные сопротивления, $\Gamma I, \Gamma \delta, R_6$ — эталонные сопротивления, R_{15} — сопротивление, R_t — термометр сопротивления, C_1, C_2 — конденсаторы, I, II — выходные преобразователи, Kn — контрольная кнопка

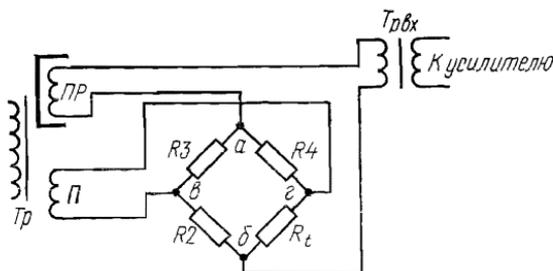


Рис. 70. Упрощенная схема измерительного моста:

Tr — питающий трансформатор, Π — питающая обмотка преобразователя, $ПФ, ПР$ — поворотная рамочка преобразователя $ПФ$, $Tr_{вх}$ — входной трансформатор усилителя, R_2, R_3, R_4 — резисторы, R_t — термометр сопротивления

При нарушении равновесия моста (вследствие изменения температуры измеряемой среды) в обмотке поворотной рамочки преобразователя $ПФ$, подключенной как нуль-прибор, возникает переменный ток. ЭДС этого тока зависит от величины разбаланса моста. Последовательно с рамочкой включен входной трансформатор $Tr_{вх}$.

Питание (см. рис. 69) подводится к вершинам моста через резистор R_{15} , подгоночный резистор R_7 и третий провод, идущий к термометру сопротивления. Сопротивление третьего провода входит в плечо моста, смежное с плечом, в которое включен термометр сопротивления с двумя соединительными проводами. Поэтому при изменении температуры помещения, в котором проложены соединительные провода, сопротивление всех трех проводов меняется одинаково, следовательно, одинаково изменяется сопротивление в двух смежных плечах моста.

В связи с этим в соответствии с формулой (17) мост не реагирует на изменение температуры помещения.

Сигнал с трансформатора $Tr_{вх}$ попадает в электронный усилитель $У$. Команда усилителя приводит в движение реверсивный двигатель $Д$. С осью двигателя связана поворотная рамочка преобразователя $ПФ$. При повороте рамочки (см. гл. II) в ней индуцируется эдс, компенсирующая эдс, возникающую вследствие нарушения равновесия моста. Двигатель $Д$ будет вращаться до тех пор, пока на входе усилителя $У$ не исчезнет входной сигнал. С осью двигателя связана показывающая стрелка прибора. В момент, когда наступит компенсация эдс разбаланса моста, двигатель остановится и стрелка покажет новое значение температуры измеряемой среды.

С осью двигателя связаны дополнительные, встраиваемые в прибор, ферродинамические преобразователи (I и II) различных модификаций. Выходные преобразователи позволяют подключать к прибору дополнительные показывающие приборы и использовать прибор в различных схемах регулирования и вычислительных устройствах.

На рис. 71 показана кинематическая схема моста МФС с записывающим устройством.

Под воздействием команды электронного усилителя реверсивный двигатель 15 , вращаясь, приводит в действие редуктор, состоящий из шестерней 1 , 2 , 3 , 4 и 14 . Шестерня 14 сцеплена с зубчатым сектором 12 , который сидит на оси компенсационного преобразователя 13 . Рамка компенсационного преобразователя включена в диагональ a , b измерительного моста (см. рис. 70). Шестерня 4 жестко насажена на центральную ось прибора. На эту же ось насажено лекало 16 , преобразующее вращательное движение оси в поступательное движение рычага 17 . На рычаг 17 действует пружина, стремящаяся повернуть его так, чтобы противоположный конец рычага скользил вниз. Этому перемещению препятствует лекало 16 .

Другой конец рычага 17 оканчивается вилкой. В вилку входит палец ползунка 20 , двигающегося вдоль направляющих 18 и 19 . На ползунке установлена стрелка 22 с лампочкой подсвета 23 , перо 24 с чернильницей 21 . Лампочка подсвета освещает участок шкалы, в котором находится в данный момент стрелка. Благодаря такому устройству показания прибора могут быть прочитаны с очень большого расстояния.

На центральной оси прибора с другой стороны от лекала 16 укреплено лекало 5 , поворот которого с помощью рычага 6 и шесте-

рен 7, 8 и 9 передается на дополнительные (выходные) преобразователи 10 и 11.

Два лекала позволяют получить любую математическую зависимость между входными параметрами и показаниями прибора и между входными и выходными сигналами. Таким образом, прибор может быть использован как функциональный преобразователь.

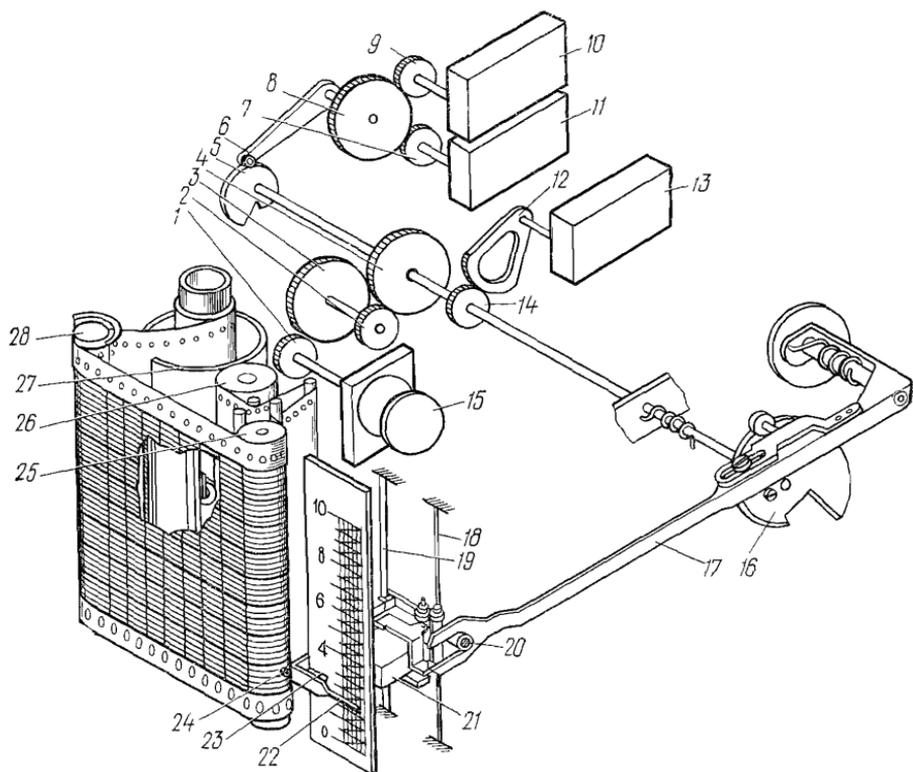


Рис. 71 Кинематическая схема моста МФС

1—4, 7—9, 14 — шестерни, 5, 16 — лекала, 6, 17 — рычаги, 10, 11 — дополнительные (выходные) преобразовательные элементы, 12 — зубчатый сектор, 13 — компенсационный преобразователь, 15 — двигатель, 18, 19 — направляющие, 20 — ползунок, 21 — чернильница, 22 — стрелка, 23 — лампочка, 24 — перо, 25, 28 — валики, 26 — рулон, 27 — приемное устройство

Диаграммная бумага наматывается на рулон 26 и оттуда через валик 25 поступает на валик 28 и в приемное устройство 27. Запись на диаграмму ведется в прямоугольных координатах. Весь участок диаграммы от валика 28 до валика 25 находится в поле зрения оператора. Поэтому видна не только точка записи, но и характер изменения процесса за некоторое время.

Скорость перемещения ленточной диаграммы может быть задана в пределах от 10 до 120 мм в час. Чем меньше скорость диаграммы, тем больший промежуток времени показания прибора вид-

ны оператору. Однако при меньшей скорости диаграммы кратковременные отклонения температуры будут видны как острые пики и трудно будет прочесть сам характер отклонений. Поэтому в процессах, где возможны резкие скачки температуры, желательна повышенная скорость диаграммы.

Лентопротяжный механизм прибора снабжен устройством для автоматической обрезки и заправки ленты. Для обрезки бумаги достаточно нажать кнопку, находящуюся в приборе.

Механизм прибора смонтирован на выдвижном шасси. Шасси выдвигается по направляющим на величину, обеспечивающую удобный доступ ко всем узлам прибора.

Усилитель прибора выполнен по четырехкаскадной схеме. Все каскады выполнены в виде отдельных модулей, собранных из полупроводниковых элементов на печатных платах.

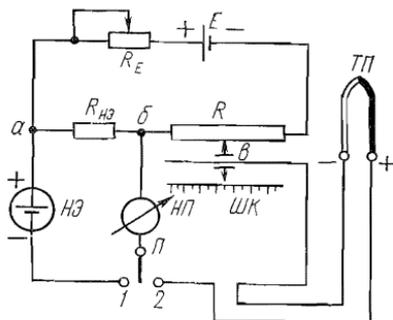
Основная допустимая погрешность прибора по показаниям не более 0,5%, по записи не более 1%. Масса 20 кг.

§ 35. Потенциометры и милливольтметры

Для измерения величины эдс, создаваемой термоэлектрическим термометром или радиационным пирометром, служат милливольтметры и потенциометры.

Рис. 72. Принципиальная схема измерения термо-эдс потенциометрическим методом:

E — батарея, $HЭ$ — нормальный элемент, $НП$ — нуль-прибор, $ТП$ — термопара, $ШК$ — шкала прибора, $R_{HЭ}$, R_E , R — резисторы, Π — ключ-переключатель



В качестве милливольтметров применяют приборы магнитоэлектрической системы. Основным узлом для этого типа приборов является постоянный магнит, между полюсами которого помещена рамка, имеющая большое количество витков тонкой проволоки.

Принцип действия милливольтметра основан на взаимодействии двух полей: поля постоянного магнита и поля, образованного током, проходящим по рамке. Величина тока в цепи пирометрического милливольтметра зависит, в частности, от эдс термопары, включенной в эту цепь. Поэтому угол поворота рамочки пропорционален величине эдс термопары.

Точность показаний потенциометров значительно выше, чем милливольтметров благодаря применению компенсационного метода измерения. Однако устройство потенциометров значительно сложнее.

На рис. 72 представлена принципиальная схема замера термо-эдс потенциометрическим методом. В этой схеме падение напряжения на участке $бв$ резистора R сравнивается с эдс, создаваемой термоэлектрическим термометром.

В схему кроме батареи E включены: термоэлектрический термометр $ТП$, нуль-прибор $НП$, резистор R с подвижным движком, связанным с показывающей шкалой $ШК$, резистор с постоянным сопротивлением $R_{нз}$, резистор с переменным сопротивлением R_E и нормальный элемент $НЭ$. Нормальный элемент представляет собой источник электродвижущей силы, которая строго постоянна и равна при 20°C 1,0185 В. Кроме того, в схему включен переключатель. Для того чтобы измерение термо-эдс было достаточно точным, необходимо предварительно установить постоянство рабочего тока в цепи источника E .

Для этого перед началом измерения переключатель $П$ устанавливается в положение 1. Ток от батареи E проходит по цепи: плюс батареи E , резисторы R_E , $R_{нз}$, резистор R , минусовый зажим батареи E . На резисторе $R_{нз}$ создается падение напряжения

$$\Delta U_1 = I_E R_{нз}.$$

Если это падение напряжения равно напряжению нормального элемента $НЭ$, то через нуль-прибор ток не пойдет.

Резистором R_E регулируется ток в цепи батареи таким образом, чтобы стрелка нуль-прибора оставалась на нуле. Этим обеспечивается постоянство рабочего тока.

Для измерения переключатель $П$ перемещается в положение 2. Теперь ток батареи, проходящий по резистору R между точками $б$ и $в$, создает падение напряжения ΔU_2 .

Если эдс термоэлектрического термометра будет равна падению напряжения ΔU_2 , то стрелка нуль-прибора остановится на нулевой отметке.

При постоянстве рабочего тока падение напряжения регулируется изменением участка сопротивления $R_{бв}$. Резистор R изготовляется линейным. Движок резистора R соединен со стрелкой шкалы. По шкале можно отсчитывать эдс термоэлектрического термометра или температуру измеряемой среды.

В автоматических потенциометрах сигнал, появляющийся в цепи нуль-прибора, посылается на электронный усилитель. Выходной сигнал электронного усилителя заставляет вращаться реверсивный электродвигатель, который соединен с движком резистора и со стрелкой показывающей шкалы. Движок резистора и стрелка шкалы остановятся в момент компенсации, когда сигнал, поступающий на усилитель, будет равен нулю.

Так как ток в цепи термоэлектрического термометра в момент измерения равен нулю, колебания величины внешнего сопротивления в цепи прибора не оказывают влияния на его показания.

Промышленность выпускает много типов потенциометров, отличающихся размерами шкал, формой и величиной диаграммной бумаги и другими конструктивными деталями.

В качестве примера разберем конструкцию серийного потенциометра КПП.

Кинематическая схема прибора КПП-1 представлена на рис. 73. На выходном валу 14 реверсивного электродвигателя насажено зубчатое колесо 13, которое через промежуточное зубчатое колесо 12 передает вращение на вал движка реохорда 11. Реохорд 8, участвующий в схеме компенсации эдс, представляет собой диск, по окруж-

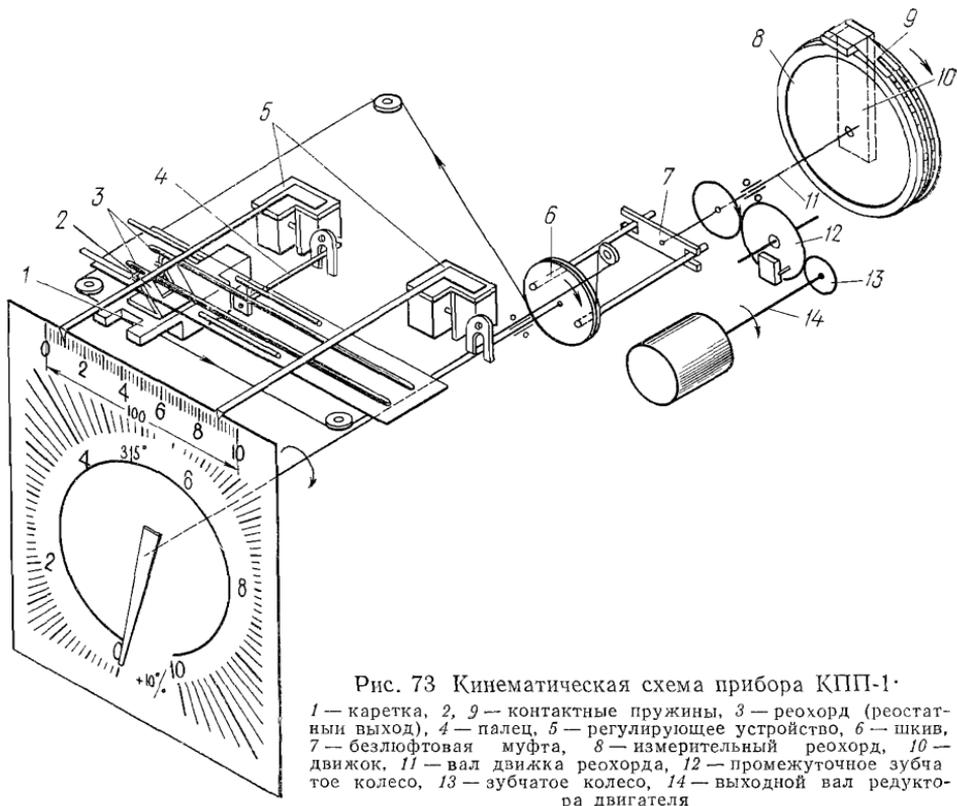


Рис. 73 Кинематическая схема прибора КПП-1.

1 — каретка, 2, 9 — контактные пружины, 3 — реохорд (реостатный выход), 4 — палец, 5 — регулирующее устройство, 6 — шкив, 7 — безлюфтовая муфта, 8 — измерительный реохорд, 10 — движок, 11 — вал движка реохорда, 12 — промежуточное зубчатое колесо, 13 — зубчатое колесо, 14 — выходной вал редуктора двигателя

ности которого в специальных пазах уложен резистор из манганиновой проволоки. Сопротивление реохорда линейно нарастает по окружности диска. По реохорду скользит пружина, укрепленная на движке 10. С помощью контактной пружины 9 осуществляется ток с реохорда.

На валу 11 сидит специальная безлюфтовая муфта 7, передающая движение шкиву 6. Шкив, в свою очередь, передает вращение стрелке прибора, которая на циферблате отмечает текущую величину эдс. Шкив имеет специальный паз по окружности, в который уложен приводной тросик. К тросику жестко прикреплена каретка 1. При повороте шкива его вращательное движение превращается в поступательное движение тросика. Перемещаясь, тросик увлека-

ет за собой каретку 1, которая скользит вдоль верхней кромки шкалы. На каретке установлена пружина с контактами 2. Когда каретка перемещается, контакты скользят по реохорду 3. Таким образом, сопротивление реохорда 3 изменяется пропорционально показаниям потенциометра.

Спирали и подгоночные катушки реостатного выходного устройства расположены на пластмассовом основании и печатной плате. Реостатное устройство подключается к схеме с помощью штепсельного разъема.

Реостат может быть использован в схемах других приборов. Например, если реохорд 3 включить на вход соответствующего автоматического моста или логометра, то показания этого прибора будут соответствовать показаниям потенциометра.

Реостатные преобразователи, встраиваемые во вторичный прибор, бывают с 10, 20 и 100%-ной зоной пропорциональности. В 100%-ных преобразователях изменение сопротивления от 0 до максимума соответствует изменению показания прибора от 0 до максимума.

В 10 и 20%-ных преобразователях полное изменение сопротивления происходит при перемещении стрелки прибора на 10 или 20% всей длины.

У таких приборов по сравнению со 100%-ным преобразователем при отклонении параметра на одну и ту же величину сигнал в виде изменения сопротивления гораздо сильнее, т. е. чувствительность регулятора при работе с такими преобразователями повышается.

Сверху круговой шкалы потенциометра нанесена продольная шкала. Вдоль верхней шкалы можно перемещать вручную указатели задания — зеленый (мин) и красный (макс). К ним прикреплены регулирующие (сигнализирующие) устройства 5. Эти устройства представляют собой микропереключатели МП5 со специальными подковообразными кулачками.

Палец 4, который крепится к каретке 1 и передвигается вместе с ней, в процессе своего движения поворачивает кулачок соответствующего микропереключателя и переключатель срабатывает. При срабатывании переключателя его размыкающие контакты размыкаются, а замыкающие замыкаются.

Перемещая указатели контактного устройства вдоль продольной шкалы, можно установить зону нормальной работы и точки сигнализации минимальной и максимальной температуры. Установка заданного значения производится в диапазоне 10—90% длины шкалы.

Контакты регулирующего устройства в приборах рассчитаны на управления цепями постоянного тока 30 В и переменного тока 220 В при активной и индуктивной нагрузках. Допустимый ток через контакты не более 1 А.

В потенциометре применен универсальный транзисторный усилитель УПД-1. На рис. 74 представлена принципиальная электрическая схема усилителя.

Усилитель состоит из четырех узлов: входного устройства, усилителя напряжения, усилителя мощности и источника питания. В состав входного устройства входит входной трансформатор $Tr1$ и вибропреобразователь $ВП$.

В связи с тем что усилителям постоянного тока присущи существенные недостатки, такие, как нестабильность (дрейф) выходной величины напряжения или тока при отсутствии сигнала, а также трудность согласования величины напряжений в различных частях схемы, для усиления, как правило, используются усилители переменного тока.

Для преобразования сигнала постоянного тока в переменный служит вибропреобразователь. Он состоит из якоря $Я$, представляющего собой тонкую упругую стальную пластину, контактов $К$ и обмотки возбуждения $ОВ$.

Обмотка возбуждения питается переменным током промышленной частоты от обмотки II трансформатора $Tr3$. Питание трансформатора осуществляется от сети 220 В, к которой подключается первичная обмотка I .

В обмотке возбуждения вибропреобразователя создается переменное магнитное поле, заставляющее вибрировать якорь с частотой

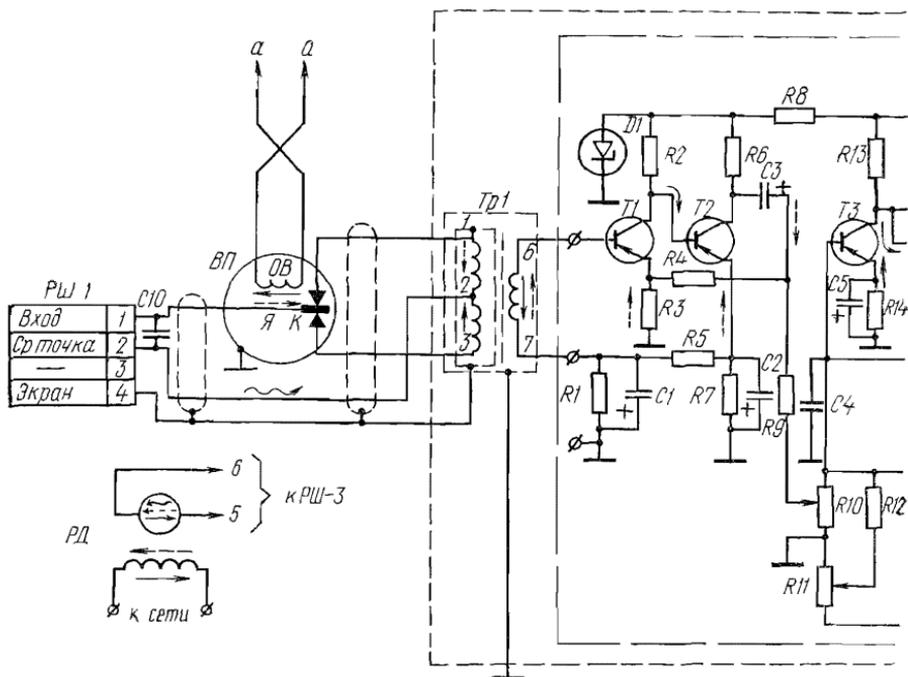


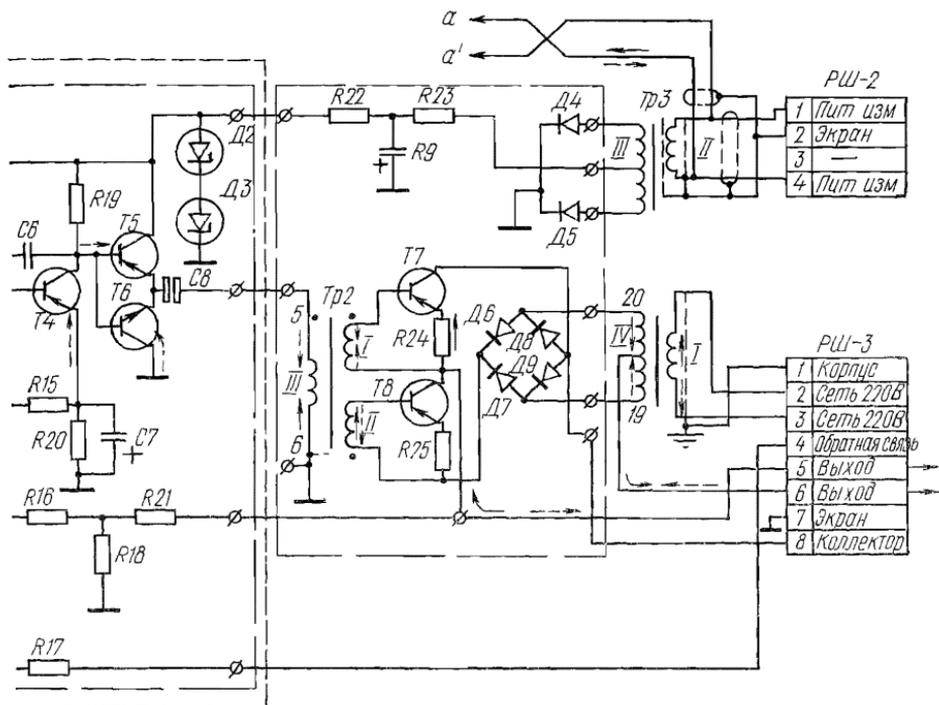
Рис. 74. Принципиальная электрическая схема

$PШ-1$ — $PШ-3$ — штепсельные разъемы, $ВП$ — вибропреобразователь, $ОВ$ — обмотка возбуждения, $Tr2$, $Tr3$ — трансформаторы, $T1$ — $T8$ — транзисторы, $D1$, $D2$, $D3$ — стабилитроны, $D4$ — $D9$ — диоды

той 50 колебаний в секунду. Перемещаясь, пластина якоря замыкает то верхний, то нижний контакт преобразователя. В результате входной сигнал замыкается поочередно на точку 1 или 3 входной обмотки трансформатора $Tr1$. Со средней точки 2 обмотки цепь замыкается на источник сигнала — преобразователь.

Если полярность входного сигнала изменится, то направление тока во входных обмотках трансформатора тоже изменится и на выходной обмотке трансформатора $Tr1$ фаза изменится на 180° . Возникающий в первичной обмотке трансформатора $Tr1$ ток хотя и является переменным, но не имеет строго синусоидальной формы. Это объясняется тем, что сам процесс замыкания и размыкания контактов вибропреобразователя якорем является прерывистым, а не плавно нарастающим. В связи с этим форма кривой тока напоминает трапецию, а не синусоиду, и в цепи трансформатора возникают паразитные слагающие тока, называемые высшими гармониками. Для фильтрации высших гармоник на входе преобразователя включается конденсатор большой емкости $C10$.

Для устранения наводок со стороны внешних магнитных полей, обмотки входного трансформатора секционированы, соединены по специальной схеме и экранированы.



электронного усилителя УПД-1:

дены преобразователя, Я — якорь преобразователя, К — контакты преобразователя, $Tr1$, диоды, $R1-R25$ — резисторы, $C1-C9$ — конденсаторы, РД — реверсивный двигатель потенциометра

Благодаря наличию входного трансформатора преобразовательный каскад не только преобразовывает, но и усиливает сигнал по напряжению.

Все транзисторы усилителя питаются постоянным током от выпрямителя *Д4*, *Д5*, подсоединенного к обмотке *III* силового трансформатора *Тр3*. «Плюс» выпрямителя заземлен на шасси усилителя, а «минус» подается к коллекторам транзисторов каскадов усиления. Для стабилизации напряжения между шиной коллекторного напряжения и землей включены кремниевые стабилитроны *Д2*, *Д3*.

Со вторичной обмотки входного трансформатора сигнал поступает на вход усилителя напряжения, состоящего из пяти каскадов. Первые четыре каскада, собранные на транзисторах *Т1* — *Т4*, выполнены по обычной схеме с общим эмиттером и разбиты на две группы, связанные между собой конденсатором связи *С3*.

Пятый каскад усилителя на транзисторах *Т5*, *Т6* выполнен по схеме составного эмиттерного повторителя с применением транзисторов различного типа проводимости.

На выходные зажимы *5*—*6* разъема *РШ-3* включается ротор реверсивного двигателя потенциометра.

В зависимости от величины сигнала термоэлектрического термометра ток в нуль-приборе потенциометра может идти в ту или иную сторону. В автоматических потенциометрах вместо нуль-прибора включается усилитель, поэтому на входные зажимы усилителя *1* — *2* разъема *РШ-1* может быть, в зависимости от измеряемой температуры, подан сигнал различной полярности. Пусть ток в сети имеет в определенный момент времени такое направление, что якорь вибропреобразователя замкнулся на нижний по схеме контакт *К*. Направление тока в сетевом трансформаторе *Тр3* и обмотке возбуждения реверсивного двигателя, подключенной к сети, показано сплошными стрелками.

Допустим, что «плюс» входного сигнала поступает на зажим *1* разъема *РШ-1*. Тогда во входной обмотке *Тр1* ток идет от точки *3* к точке *2*, а во вторичной обмотке — от точки *6* к точке *7*. Выбранный режим обозначается по всей схеме сплошными стрелками.

Триод *Т1* открывается, коллекторный ток растет, сопротивление эмиттер — коллектор триода падает, в результате на базу триода *Т2* поступает положительный потенциал и сопротивление эмиттер — коллектор триода *Т2* возрастает, триод *Т3* открывается, триод *Т4* закрывается, триод *Т5* открывается и в первичной обмотке *III* трансформатора *Тр2* ток идет от конца к началу (к точке). Конденсатор *С8* заряжается плюсом на правой по схеме обкладке. Во вторичных обмотках *Тр2* направление тока от начала к концу. Открывается триод *Т7*.

Цепь тока: сетевой трансформатор *Тр3* (средняя точка обмотки *IV*), двигатель, переход эмиттер — коллектор *Т7*, выпрямитель *Д6* — *Д9*, конец *20 Тр3*.

Как мы видим, направление тока в роторе и обмотке возбуждения двигателя *Д* одинаково.

Пусть теперь полярность входного сигнала останется той же, а направление тока в сети изменилось на обратное (показано на трансформаторе $Tr3$ и обмотке возбуждения двигателя пунктирными стрелками).

Так как изменилось направление тока и в обмотке вибропреобразователя OB , то якорь его прижат теперь к верхнему по схеме контакту. Поэтому ток во входной обмотке $Tr1$ идет от точки 1 к точке 2. В дальнейшем этот режим по всей схеме показан пунктирными стрелками.

В результате работы триодов $T1$, $T2$, $T3$ и $T4$ на базах триодов $T5$ и $T6$ положительный потенциал растет. Триод $T5$ закрывается. Проводимость триода $T6$ $n-p-n$ обратна проводимости триода $T5$, поэтому, когда на его базе напряжение растет, он открывается, и конденсатор $C8$ разряжается через первичную обмотку $Tr2$ и переход коллектор — эмиттер $T6$. Под действием напряжения вторичных обмоток $Tr2$ триод $T7$ закрывается, а $T8$ открывается.

От точки 20 трансформатора $Tr3$ через диодный мост $D6—D9$, транзистор $T8$ и ротор реверсивного двигателя ток течет к средней точке обмотки $Tr3$.

Так как сетевой ток в обмотке возбуждения двигателя также поменял свое направление, то направления токов в роторе и обмотке возбуждения двигателя опять совпадают.

Пусть теперь полярность сетевого напряжения соответствует сплошным стрелкам, а направление входного сигнала изменилось (показано волнистой стрелкой), тогда направление тока во входной обмотке $Tr1$ и на всех каскадах усилителя соответствует направлению, показанному пунктирными стрелками.

Проследим цепи тока выходного каскада. Ток с точки 19 трансформатора $Tr3$ пройдет выпрямитель, триод $T8$, ротор двигателя и замкнется на среднюю точку обмотки $Tr3$.

Направления токов в роторе и обмотке возбуждения реверсивного двигателя стали разными и он изменит направление вращения.

Пределы измерения потенциометров в зависимости от градуировки могут быть от -50 до $+2500^\circ C$. Преобразователи эдс подключаются с пределами измерения от $0—10$ до $0—100$ мВ. Допустимая погрешность прибора при нормальных условиях не превышает $\pm 0,5\%$ от диапазона измерения. Масса потенциометра не более 12 кг.

§ 36. Вторичные показывающие приборы расхода, давления и уровня

Схема измерения вторичными приборами неэлектрических величин строится по принципу компенсации сигнала преобразователей в механизме показывающего прибора. Как было сказано в пятой главе, сигнал преобразователя может быть не прямо пропорционален измеряемой величине, а может быть в квадратичной или какой-либо другой степенной зависимости. Поэтому во вторичные приборы встраиваются блоки линеаризации, позволяющие показывающие шкалы делать равномерными и градуировать их не-

посредственно в мерах измеряемой величины. Такие блоки могут быть построены с помощью электрических и электронных деталей и узлов, но в большинстве приборов — это кулачок, имеющий профиль, выполненный по закону, по которому изменяется сигнал в зависимости от изменения измеряемого параметра.

Один из часто встречающихся в эксплуатации приборов дифференциально-трансформаторной системы — электронный показывающий прибор ЭИВ-2 (новая модификация КВД). Он без записывающего устройства. Шкала прибора представляет собой барабан. Ось барабана вращается реверсивным двигателем, управляющая обмотка которого включена на выход электронного усилителя. По середине застекленной части прибора перед шкалой помещен неподвижный указатель. Таким образом, в этом типе прибора двигается не стрелка, а шкала. При вращении барабана под указатель подходит то или иное деление шкалы, на котором можно прочесть текущее значение измеряемого параметра. В приборы встраиваются устройства для сигнализации и позиционного регулирования.

Прибор ЭИВ-2 предназначен для измерения и сигнализации расхода жидкости, пара, газа; разности (перепада) давлений; избыточного давления (напора); разрежения (тяги); уровня жидкости и других величин, для измерения которых используют дифференциально-трансформаторные индукционные преобразователи с ходом плунжера от 2 до 5 мм. Приборы КВД (новая модификация прибора ЭИВ-2) работают в комплекте с взаимозаменяемыми преобразователями, осуществляющими преобразование измеряемых величин в комплексную индуктивность 0—10 мГ.

Принципиальная электрическая схема прибора с дифференциально-трансформаторной системой передачи показаний изображена на рис. 3.

В приборе ЭИВ-2 на вал двигателя и профильного кулачка могут быть дополнительно посажены реостатный задатчик и кулачки контактного устройства.

Для приведения измерительной схемы прибора к равновесию используется реверсивный асинхронный двигатель конденсаторного типа РД-09П2. Конструктивно двигатель выполняют со встроенным в него компактным редуктором. Редуктор заливают маслом. Для этого в корпусе двигателя имеется специальная трубка. Шкала прибора равномерная и имеет оцифровку в единицах измеряемой величины или в процентах.

Верхние пределы измерений приборов, работающих в комплекте расходомеров, выбираются из ряда

$$A = a 10^n,$$

где a — одно из чисел 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; n — целое положительное число.

Приборы КВД могут быть со шкалой, градуированной в единицах давления (кгс/м² или кгс/см²), с двусторонней симметричной шкалой, с нулем по середине для уровнемеров, с размерностью в

сантиметрах, миллиметрах или метрах. Точность измерения $\pm 1\%$. Длина шкалы 500 мм. Время прохождения всей шкалы прибора 10 с. Масса не более 15 кг.

§ 37. Особенности эксплуатации и монтажа вторичных приборов

Вторичные показывающие приборы нужно монтировать на щитах управления. Правил монтажа немного и они одинаковы для всех вторичных приборов. Некоторое отличие от общих правил допускается для пневматических приборов.

Создание надлежащих эксплуатационных условий обеспечивает более надежную и долговечную работу прибора.

Помещение, в котором устанавливается щит оператора или диспетчера со вторичными показывающими приборами, должно быть достаточно чистое и сухое. В воздухе не должно быть примесей, вызывающих коррозию частей прибора. Для большинства приборов рекомендуется относительная влажность воздуха в помещении 30—80%, температура 5—50° С.

Приборы не следует располагать вблизи мощных источников электромагнитных полей (силовых трансформаторов, дросселей, электродвигателей, электрических печей и т. д.). Это не относится к монтажу пневматических вторичных приборов, не имеющих никаких электрических узлов.

Для удобства обслуживания и отсчетов по шкале показывающие и регистрирующие приборы лучше всего монтировать на такой высоте, чтобы расстояние от пола до шкалы было 1500 мм.

В местах установки приборов недопустимы тряска и вибрация, могущие вызвать ослабление креплений деталей.

Корпус щитовых показывающих приборов по лицевой стороне имеет отбортовку, выступающую за габариты корпуса на 10—15 мм. Вырез в щите меньше габаритов отбортовки, поэтому при установке прибора на щите весь корпус прибора уходит внутрь щита и на фасадную панель щита выступает только лицевая сторона прибора.

Приборы крепят к панели специальными скобами и винтами, позволяющими в случае надобности легко снять прибор.

При пуске в эксплуатацию электрических показывающих и регистрирующих приборов необходимо залить в редуктор реверсивного двигателя около 10 см³ спецмасла, которые обычно прилагаются к прибору.

В приборах, в которых имеется реохорд, следует в кожух реохорда залить трансформаторное масло.

В схему мостов, предназначенных для работы с термометрами сопротивления, входит сухой элемент. Так как со временем этот элемент разряжается, необходимо по прошествии трех месяцев (таков обычный срок работы сухого элемента) замерить напряжение (а не эдс) на его зажимах и в случае необходимости сменить элемент.

В приборах, в которые встроены реостаты обратной связи и реостатные задатчики, необходимо обращать внимание на состояние реохордной проволоки и на скользящие контакты. Рехордная проволока может перетираться и сдвигаться на своем основании.

Подгорание контактов и потеря ими первоначальной формы может привести к нарушению электрической цепи.

Периодически раз в месяц следует смазывать следующие части: шариковые подшипники и оси, оси и втулки редуктора реверсивного двигателя, все зубчатые колеса.

Контрольные вопросы

1. Что означают радиальные линии на круговой диаграмме?
2. За счет чего уравнивается возросший момент на рамке логометра?
3. Как записывается закон равновесия моста?
4. Какое устройство позволяет линеализовать сигнал датчика во вторичном приборе?
5. Чем уравнивается термо-эдс в потенциометре?
6. Какие дополнительные устройства могут быть встроены во вторичный прибор?
7. На какую температуру и влажность рассчитаны вторичные приборы?
8. Как часто смазывают подшипники и оси в редукторах вторичных приборов?

Глава IX

ОСНОВЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

§ 38. Котельные установки как объект регулирования

Котельная установка является сложным комплексом машин и механизмов, работающих в едином технологическом потоке. В состав котельной установки, кроме основного производства, входят несколько цехов: подготовки воды, подготовки и транспортировки топлива, теплоснабжения потребителя сетевой водой для отопления и водой для горячего водоснабжения и др.

В каждом из этих цехов находятся агрегаты и двигатели, многие из которых автоматизированы, соединены между собой определенными зависимостями или входят в систему АСУ (автоматическую систему управления).

Но все эти вспомогательные цехи и установки либо направлены на создание бесперебойной работы котлоагрегата и турбин ТЭЦ, либо являются устройствами, призванными распределять энергию, вырабатываемую теплосиловой установкой.

Основным энергоемким агрегатом, от которого зависит экономичная работа тепловой станции, остается котельный агрегат. Поэтому особое значение придется системе регулирования теплового процесса котельного агрегата.

На рис. 75 изображена схема котельного агрегата с основными точками автоматического регулирования.

Топливо, сжигаемое в топке 1, выделяет определенное количество тепла, которое воспринимается активными поверхностями нагрева котла. Обычно это экранные водонагревательные трубы, которые, спускаясь из барабана котла, опоясывают топочное пространство и образуют замкнутый контур циркуляции воды.

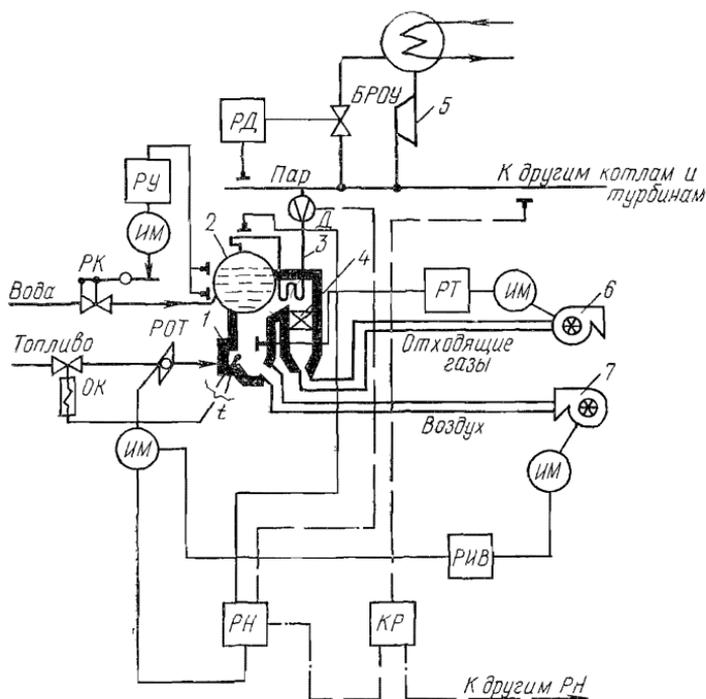


Рис. 75. Схема котельного агрегата с основными точками регулирования:

1 — топка котла, 2 — барабан котла, 3 — пароперегреватель, 4 — экономайзер, 5 — турбина, 6 — дымосос, 7 — вентилятор, ОК — отсекный клапан, РОТ — регулирующий орган топлива, РК — регулирующий клапан питательной воды, ИМ — исполнительный механизм, РУ — регулятор уровня, РД — регулятор давления, БРОУ — быстродействующая редукционно-охлаждающая установка, Д — диафрагма, РТ — регулятор тяги, РИВ — регулятор избытка воздуха, КР — корректирующий регулятор, РН — регулятор нагрузки, t — термомпара

Тепло, передаваемое экранным трубам горячими газами, заставляет воду в трубах вскипать, и в последних образуется пароводяная смесь. Плотность такой смеси меньше плотности воды, поэтому нагретая пароводяная эмульсия подымается вверх по трубам и попадает в барабан котла, где пар отделяется от воды и занимает верхний объем барабана. По опускным необогреваемым трубам, которые внизу котла соединены с обогреваемыми трубами, на место ушедшей в барабан котла эмульсии поступает новая вода и снова образуется эмульсия, поднимающаяся вверх. Таким образом, в котле создается постоянная циркуляция воды.

Образовавшийся пар собирается в барабане котла 2 и через пароперегреватель 3 поступает в паровую турбину 5. Продукты сгорания топлива (в виде топочных газов) отсасываются дымососом 6. На своем пути топочные газы омывают трубки пароперегревателя 3 и водяного экономайзера 4.

Использование тепла уходящих газов повышает коэффициент полезного действия, так как тепло используется для повышения энергетических показателей пара, а подогретая питательная вода, поступая в барабан, не охлаждает находящуюся там воду. Подогретая вода после водяного экономайзера поступает через питательный клапан *РК* в барабан, восполняя потери воды с отбираемым паром.

Топливо в топку (в данном случае горючий газ) поступает через отсеchnый клапан *ОК* и регулирующий орган *РОТ*. Нормальный режим горения топлива обеспечивается подачей в топку воздуха от вентилятора 7.

Для того чтобы поддержать экономичный и устойчивый режим котельного агрегата, надо прежде всего выбрать параметр, который лег бы в основу регулирования подачи топлива в топку. В индивидуальных котельных агрегатах, работающих каждый на свою турбину, таким параметром является давление пара в барабане котла. Действительно, если в топке сгорает столько топлива, сколько требуется для образования пара, покрывающего его расход, то давление в барабане котла будет неизменным. Иначе говоря, подвод тепла к котельному агрегату от сгорающего топлива, с учетом коэффициента полезного действия, должен соответствовать уходу тепла с отбираемым паром.

Если количество тепла, поступающего в топку, превышает расход тепла с уходящим паром, то парообразование в котле будет протекать более интенсивно и давление в барабане увеличится. Если количество тепла, отбираемое с паром, превышает тепло, выделяемое горящим топливом, давление в барабане котла будет падать.

Количество тепла, подаваемого в топку, может изменяться по причине изменения состава и калорийности топлива. Но, если считать, что состав подаваемого топлива не меняется, что соответствует действительности для газового и жидкого топлива, то изменение подачи топлива в топку должно быть вызвано только одной причиной — изменением количества отбираемого пара. Поэтому процесс регулирования подачи топлива называется *регулированием нагрузки котла*, а регулятор, ведущий этот процесс, называется *регулятором нагрузки РН*.

Регулятор *РН* получает сигнал давления в барабане котла и передает воздействие на исполнительный механизм *ИМ*, который перемещает регулирующий орган топлива *РОТ*. Регулятор не просто передает воздействие на регулирующий орган, он обрабатывает сигнал в соответствии с законами регулирования. Дело в том, что процесс образования пара в котле имеет определенную инерционность, т. е. с изменением подачи топлива не сразу изменяется количество выработанного пара. Причиной этого является то, что сам

процесс образования пара происходит во времени, кроме того требуется время на нагревание топочных масс котла.

Представим себе в развернутом виде переходный процесс после изменения отбора пара или, иначе говоря, возмущения системы регулирования. Пусть в результате увеличения отбора пара давление в барабане упало. Для того чтобы отдать команду на восстановление давления, регулятор должен учесть, на какую величину упало давление, а зачастую и с какой скоростью оно падает. Когда подача топлива в топку увеличится, часть увеличенной подачи тепла уйдет на нагрев топочной кладки, деталей топочного устройства, металла экранных труб и т. д. Следовательно, для того чтобы ускорить восстановление давления в барабане котла, регулятор должен подать команду, учитывающую этот повышенный расход тепла.

Вместе с тем, когда процесс установится в новом режиме и все части котла прогреются, эта добавочная порция тепла, если ее не снять, приведет к повышенной выработке пара, а следовательно, к увеличению давления выше нормы.

Все это должно быть учтено регулятором: после начала перестановки регулирующего органа подача топлива увеличится; давление начнет восстанавливаться; по мере приближения давления к норме регулятор должен замедлять движение регулирующего органа и прекратить его перестановку, когда давление достигнет нормы.

Однако в силу вышесказанных причин, а также ошибок регулятора, инерционности исполнительного механизма и регулирующего органа процесс редко на этом заканчивается. Чаще всего регулирующий орган к моменту восстановления давления занимает положение, соответствующее повышенной, против требуемого, подачи топлива. Поэтому давление в котле будет расти и процесс регулирования будет повторяться с обратным знаком.

Пройдет несколько колебаний всей системы, прежде чем процесс установится. Такие колебания являются нежелательными для котельного агрегата, так как, кроме того что такой режим является очень неэкономичным, он приводит к тепловым перегрузкам и деформациям всех частей котла. Правильный выбор регулятора и его точная настройка заметно уменьшают переходный процесс и улучшают режим работы котла.

Для обеспечения процесса горения топлива в топку должно быть подано определенное количество воздуха, кислород которого необходим для полного сгорания топлива. Избыток подаваемого воздуха вызовет повышенный унос тепла с топочными газами и приведет к переохлаждению топочного пространства, а недостаточная подача воздуха — к неполному сгоранию топлива. Поэтому соответствующая расходу топлива подача воздуха является второй задачей, которую должна обеспечивать система автоматического регулирования.

В топку всегда подается небольшой избыток воздуха по сравнению с тем, который нужен для полного сжигания топлива. Этот избыток определяется коэффициентом избытка воздуха, который уста-

навливается при тепловых испытаниях котлоагрегата. Задача автоматического регулирования заключается в обеспечении подачи воздуха в строгом соответствии с этим коэффициентом. Если характеристика системы топливо — регулирующий орган линейна, т. е. перемещение регулирующего органа прямо пропорционально количеству топлива, подаваемого в топку, то сигнал о количестве подаваемого топлива можно снять с преобразователя указателя положения исполнительного механизма регулирующего органа топлива. Этот сигнал воспринимается регулятором избытка воздуха *РИБ*, который отдает команду исполнительному механизму *ИМ*, служащему приводом направляющего аппарата вентилятора 7.

Топочные газы должны быть полностью удалены. Полного удаления продуктов сгорания можно достичь обеспечением определенной производительности дымососа 6. Для того чтобы топочные газы не выбивались из топки наружу, необходимо поддерживать определенное разрежение в топке котла. Вместе с тем увеличение этого разрежения приводит к повышенному подосу воздуха через неплотности в стенках котлоагрегата. В котел попадает неподогретый воздух. Повышаются потери с отходящими газами, так как возрастает скорость дымовых газов, нерационально увеличивается расход электроэнергии на привод дымососа. Все это ведет к уменьшению коэффициента полезного действия котла.

Импульс разрежения снимается в верхней части топочной камеры в связи с тем, что в нижних частях топки могут быть различного рода подсосы. Поэтому, поддерживая разрежение в верхней части топки, можно быть уверенным, что в других частях топки разрежение может быть только больше, но не меньше. Импульс разрежения передается на регулятор *РТ*, который через исполнительный механизм поворачивает лопатки направляющего аппарата дымососа.

Регулирование уровня в барабане котла осуществляется регулятором *РУ*. Команда уровня передается на регулирующий клапан *РК*. При снижении уровня клапан открывается. При увеличении уровня — прикрывается.

Такой представляется упрощенная картина регулирования уровня. На самом деле на уровень в барабане котла влияет целый ряд факторов. К этим факторам относятся тепловая нагрузка топки, давление пара в барабане котла, расход пара из барабана котла и подача питательной воды в барабан.

В установившемся состоянии теплового режима количество тепла, воспринимаемое экранными трубами, во времени постоянно и количество образовавшегося пара в котле соответствует количеству пара, отбираемому потребителем. При этом количество пузырьков пара в экранных трубах постоянно и постоянна плотность и объем пароводяной эмульсии.

Любое нарушение установившегося состояния теплового режима приводит к изменению соотношения между средним содержанием пара и воды в экранных трубах.

При увеличении тепловой нагрузки топки количество тепла, пе-

редаваемое поверхностям нагрева, увеличивается, следовательно, увеличивается интенсивность парообразования. Увеличение количества пузырьков пара в пароводяной эмульсии приводит к увеличению ее объема, что сказывается на уровне в барабане котла — уровень увеличивается. Увеличение давления в барабане котлоагрегата приведет к уменьшению содержания пара в пароводяной эмульсии, так как при повышенном давлении часть пузырьков пара сконденсируется и превратится в воду. Поэтому при повышении давления уровень будет понижаться.

Рассмотрим процесс изменения уровня при возмущении теплового процесса в случае увеличения нагрузки на котел.

Увеличение потребления пара потребителями при неизменной подаче топлива приведет к уменьшению давления в барабане котла, что вызовет увеличение объема пароводяной эмульсии, так называемое «набухание». В результате эффекта «набухания» уровень в барабане котла значительно возрастет. Величина изменения уровня зависит от теплонапряженности поверхностей нагрева и количества воды, содержащейся в котле.

В котлах с большим водяным объемом, не имеющих экранных поверхностей, изменение уровня при изменении нагрузки почти не ощущается. В котлах с одним барабаном и сильно развитым топочным экраном «набухание» уровня может достигнуть величины порядка сотен миллиметров.

Увеличение уровня в барабане котла воспринимается регулятором как сигнал к снижению подачи питательной воды. Уменьшение количества питательной воды, подаваемой в барабан котла, приведет к увеличению температуры воды, а следовательно, к еще большему «набуханию». Однако с увеличением нагрузки котла количество воды, уходящей в виде пара, увеличивается, что в конце концов приведет к устойчивому снижению уровня в барабане.

Таким образом, увеличение нагрузки сначала приведет к резкому увеличению уровня в результате «набухания», а затем к снижению его в результате повышенного расхода воды.

Для того чтобы регулятор реагировал на причины, вызывающие изменение уровня, он должен воспринимать сигналы не только уровня в барабане котла, но и расхода пара, а часто и расхода питательной воды, подаваемой в котел. Причем сигнал расхода пара подают в регулятор со знаком, обратным сигналу уровня.

В результате явления «набухания» уровень в барабане котла изменяется настолько быстро, что регулятор не может повлиять на величину этого отклонения. Даже полное закрытие клапана питательной воды в момент увеличения нагрузки почти не уменьшает отклонение уровня в процессе «набухания». Но если позволить регулятору полностью закрыть питательный клапан, то возникает опасность упуска уровня в последующий период, когда уровень начнет устойчиво снижаться за счет несоответствия подачи воды в барабан и расхода пара.

Поэтому при введении в регулятор сигнала по расходу пара процесс регулирования будет выглядеть следующим образом: в пер-

вый период после увеличения нагрузки регулятор, приняв сигнал увеличенного расхода пара, выдаст команду на питательный клапан и он начнет открываться; в следующий период начнется «набухание», этот сигнал заставит регулятор прекратить воздействие на открытие питательного клапана. Если после этого уровень в барабане не установится, а будет изменяться, то этот сигнал изменения уровня, не скомпенсированный сигналом расхода, снова приведет к перемещению питательного клапана до восстановления уровня.

Если питательный насос подает воду на параллельно работающие котлы, то при отключении одного из них давление, создаваемое питательным насосом, увеличится (вследствие уменьшения нагрузки насоса). Увеличение давления приведет к повышенному количеству воды, подаваемой в оставшиеся в работе котлы, вследствие чего уровень в них повысится. Для предупреждения подобного явления в регулятор заводят еще один сигнал — по расходу питательной воды.

Автоматический процесс регулирования теплового режима котельного агрегата, работающего на турбину, осложняется еще тем, что турбина и котел как объект регулирования имеют разные скорости разгона, т. е. скорости восстановления номинального значения параметра. Турбина может изменять потребление пара со скоростью, сопоставимой с временем закрытия регулирующих клапанов. Изменение выработки пара котлом происходит значительно медленнее. Поэтому при резком сбросе или наборе нагрузки давление пара в паропроводе перед турбиной может значительно меняться.

Для защиты от резкого повышения давления в паропроводе служит быстровключающаяся редуциционно-охладительная установка *БРОУ*. При сбросе нагрузки, когда давление пара быстро растет и регулятор нагрузки не успевает привести агрегат в нормальный режим, давление может подняться выше определенного предела, тогда регулятор давления *РД* (см. рис. 75) открывает клапан *БРОУ* и сбрасывает излишек пара в конденсатор турбины.

Обычно давление, на которое настроен регулятор *РД*, несколько выше настройки регулятора нагрузки, и до тех пор, пока регулятор нагрузки *РН* не приведет давление в барабане в норму, регулятор *РД* с помощью *БРОУ* будет поддерживать давление несколько выше нормального.

На тракте газового топлива обязательно устанавливается отсеchnый клапан *ОК*. Его задачей является обеспечить отсечку газа в случае погасания факела в топке котла, иначе газ может выходить в помещение котельной. В качестве преобразователя погасания пламени используется фотоэлемент или термоэлектрический термометр. Ток, проходя по обмоткам соленоида клапана *ОК*, удерживает его в открытом состоянии. При погасании пламени выходной сигнал термоэлектрического термометра уменьшается и клапан *ОК* закрывается. При розжиге котла клапан *ОК* открывается вручную.

На рис. 75 штрихпунктиром показаны связи автоматики, когда котел работает не в индивидуальном режиме, а в групповом — несколько котлов работают на один паропровод. В этом случае нель-

зя вести регулирование только индивидуальными регуляторами *РН*, так как при падении давления в магистрали оно упадет и на барабане каждого котла. Регулятор нагрузки каждого агрегата будет стремиться восстановить давление. Но так как агрегаты имеют разную инерционность, то те из них, которые менее инерционны (у которых скорость разгона больше), быстрее наберут необходимую мощность и быстрее восстановят давление. Но восстановление давления на барабане — это то же, что восстановление давления на магистральном паропроводе. Поэтому регуляторы котлов с большей инерционностью перестанут набирать нагрузку. Таким образом, котлы окажутся загруженными неравномерно.

Поэтому на электростанциях с общими паропроводами (поперечными связями между котлами и турбинами) применяются схемы каскадного регулирования давления пара с главным корректирующим регулятором.

Импульс давления отбирается в характерной точке общего паропровода и посылается на корректирующий регулятор *КР*. Корректирующий регулятор, в свою очередь, меняет задание основным регуляторам. Сигнал к основному регулятору котла в этом случае приходит от какого-либо другого параметра, например от расхода пара котлом. Регулятор *РН* подает команду на расход топлива в зависимости от количества отбираемого пара из котла, но при колебаниях давления в магистрали главный регулятор *КР* изменяет задание основному регулятору: у более инерционных котлов задание увеличивается, а у менее инерционных — уменьшается.

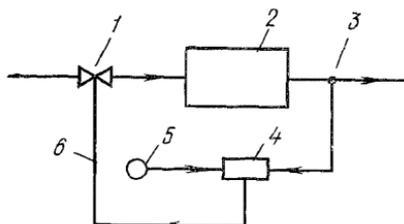
Для более полного понимания процессов, происходящих при авторегулировании, надо иметь понятие о теоретических основах регулирования.

§ 39. Основные понятия и определения теории автоматического регулирования

На рис. 76 показана простейшая система автоматического регулирования. На объект 2 поступает в том или ином виде энергия через регулирующий орган 1. В объекте 2 энергия преобразуется

Рис. 76 Система автоматического регулирования

1 — регулирующий орган, 2 — объект регулирования, 3 — выходной параметр, 4 — регулятор, 5 — задатчик, 6 — команда регулятора



или перерабатывается и выдается потребителю. Из точки 3 часть энергии, отдаваемой потребителю, или сигнал, пропорциональный величине этой энергии, передается на регулятор 4. От задатчика 5 на регулятор передается сигнал задания.

Величины сигнала задания и сигнала, характеризующего выходной параметр объекта, сравниваются, и если они не равны, то сигнал рассогласования преобразуется в регуляторе, на выход которого подключен регулирующий орган I . Регулирующий орган перемещается так, чтобы разница между выходным параметром объекта и заданием регулятора уменьшалась. Воздействие b отрабатывается регулятором в соответствии с одним из законов автоматического регулирования.

Система регулирования может находиться в двух состояниях — установившемся и переходном. Если величины сигналов регулируемого параметра и задания равны, то воздействие на регулятор равно нулю. В этом случае регулятор не оказывает воздействия на процесс. Такое состояние системы регулирования называется *установившимся*.

Возмущением системы регулирования называют воздействия на систему, которые приводят к отклонению регулируемого параметра от заданной величины.

Возмущения, получаемые системой регулирования, подразделяются на внутренние и внешние. Основным внешним возмущением системы является изменение нагрузки объекта, т. е. изменение потребления энергии, вырабатываемой объектом регулирования, например изменение расхода пара, вырабатываемого котлом.

К внутренним возмущениям относят возмущения, возникающие внутри контура регулирования. К таким возмущениям можно отнести, например, изменение уровня в барабане котла.

В результате возмущения в системе возникает отклонение параметра от заданного значения и на входе регулятора появится сигнал разности между заданием и действительным значением регулируемого параметра. Этот сигнал называется *сигналом рассогласования* (ошибкой регулирования). Сигнал рассогласования приводит в действие регулятор, команда которого воздействует на регулирующий орган. После появления сигнала рассогласования система выходит из установившегося состояния. Начинается процесс регулирования, который называется *переходным*.

В зависимости от свойств объекта регулирования и характеристики регулятора переходный процесс может идти по-разному. На рис. 77 показаны возможные кривые переходных процессов.

По оси ординат на графиках отложены значения регулируемого параметра, а по оси абсцисс — время регулирования. В момент времени t_1 возникает возмущение, приводящее к отклонению регулируемого параметра P от номинального P_n . В момент t_2 регулятор начал воздействие на объект регулирования.

Кривая на рис. 77, *а* показывает так называемый монотонный сходящийся процесс регулирования. В этом случае после возмущения регулятор приводит регулируемую величину к установившемуся состоянию постепенно, уменьшая ее до номинального значения.

На рис. 77, *б* показана кривая, характеризующая колебательный затухающий процесс регулирования. Такой характер переход-

ного процесса наиболее часто встречается в сложных системах регулирования.

Так как сам объект регулирования может иметь инерционность, то происходит небольшое перерегулирование и возникает колебательный процесс. В процессе колебания отклонения параметра от заданного становятся все меньше и меньше и в конце концов переходный процесс заканчивается.

При неправильном построении или настройке системы регулирования переходный процесс может быть расходящимся, при котором величина отклонения от заданного значения с течением времени возрастает (график на рис. 77, в).

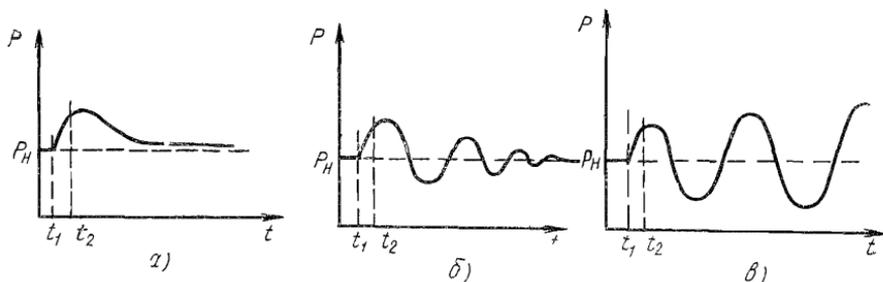


Рис 77 Графики переходных процессов регулирования

а — монотонный, б — колебательный затухающий, в — колебательный расходящийся

В качестве примера колебательного процесса рассмотрим процесс регулирования давления сжатого воздуха в емкости (рис. 78). В емкость 4 поступает определенное количество воздуха $Q_{пр}$. Так как это количество воздуха равно количеству воздуха, сбрасываемого из емкости $Q_{расх}$, то давление воздуха в емкости находится в установившемся состоянии.

Давление воздуха по импульсной трубке передается на мембрану 3 регулирующего органа. Мембрана клапана связана штоком с регулирующим органом 1, меняющим приток воздуха. Давление, действующее на мембрану, уравнивается грузом 2, связанным механически со штоком клапана.

В момент времени t_0 (рис. 79) расход воздуха, отбираемого потребителем из емкости, резко сократился (кривая 1). Так как приток воздуха в емкости начал превышать расход воздуха, давление в емкости стало повышаться (кривая 2 на участке OA). Повышенное давление передается по импульсной трубке на мембрану 3 (см. рис. 78).

Так как давление на мембрану превышает массу груза, действующего на шток клапана, клапан начнет закрываться. Количество воздуха, поступающего в емкость, начнет уменьшаться (кривая 3, участок $O_1 A_1$). В момент t_1 количество приходящего воздуха будет равно количеству воздуха, отбираемого потребителем, поэ-

тому давление в емкости больше повышаться не будет (точка A на кривой 2).

Однако в связи с тем, что давление в емкости больше начально-го, на которое был настроен с помощью груза 2 (см. рис. 78) регулятор, мембрана продолжает прогибаться вниз, еще больше уменьшая приток воздуха в емкость (кривая 3 от точки A_1 до B_1).

В свою очередь уменьшение притока вызовет снижение давления в емкости (кривая 2, участок AB). В момент t_2 давление в емкости будет равно номинальному и ход штока клапана остановится. Но так как количество воздуха, поступающего в емкость (точка B_1

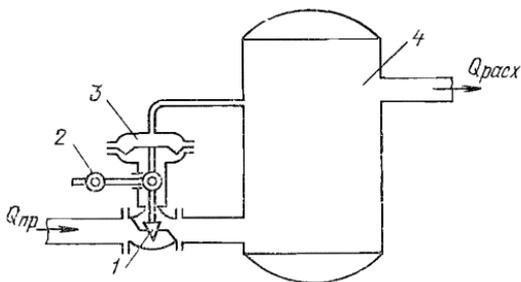


Рис. 78. Система регулирования:
1 — регулирующий орган, 2 — уравнивающий груз, 3 — чувствительный элемент регулятора (мембрана), 4 — емкость

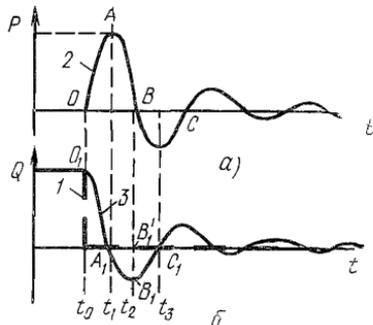


Рис. 79. Колебательный переходный процесс:

а — график колебания давления в емкости, б — график расхода воздуха

на кривой 3), меньше расхода воздуха из емкости (точка B_1' на линии 1), то давление в емкости начнет падать. В результате груз заставит клапан открываться, увеличивая приток воздуха. Таким образом возникает колебательный переходный процесс.

В показанной на рис. 76 системе регулирования задача регулятора состояла в том, чтобы поддерживать выходной параметр на заранее заданном значении. Установленное с помощью задатчика задание регулятору остается все время постоянным, не зависящим от времени или от изменения величины какого-либо другого параметра. Такое регулирование называется *стабилизацией параметра технологического процесса*. Этот вид регулирования встречается наиболее часто. Как пример процесса стабилизации можно привести процесс регулирования давления пара в барабане котла, в схеме без корректирующего регулятора, когда давление пара должно поддерживаться все время постоянным.

В практике регулирования технологических процессов часто встречается необходимость регулировать какой-либо параметр в зависимости от изменения величины другого параметра. Примером такого регулирования является регулирование подачи воздуха в топку в зависимости от расхода топлива, поступающего в топку. Такие системы регулирования называются *следящими*.

Если задание регулятору изменяется по заранее заданной определенной программе, то такое регулирование называется *программным*. Примером такого регулирования может служить регулирование подачи тепла тепловым узлом в систему отопления общественного здания.

Днем в течение определенного времени подача горячей воды на отопление должна быть номинальной. После окончания рабочего дня интенсивность отопления может быть снижена. Затем перед началом рабочего дня нагрузка теплового узла должна стать максимальной, чтобы довести температуру в помещении до нормы. И во время рабочего дня нагрузка теплового узла должна стать опять номинальной. Задание регулятору в течение времени суток в этом случае определяется специальным программным устройством.

Более сложной и более совершенной является *система оптимального регулирования*. При этом виде регулирования поддерживается оптимальное значение параметра из всех возможных. Так, например, если в качестве регулируемого параметра принять коэффициент полезного действия парового котла, то задача регулятора состояла бы в том, чтобы, управляя подачей топлива и воздуха, обеспечить максимальную экономичность процесса горения, т. е. поддерживать все значения основных параметров котла таким образом, чтобы в топку подавалось оптимальное количество топлива, соответствующее минимальному расходу его и максимальному КПД котла.

§ 40. Свойства и характеристики объектов регулирования

Одним из важнейших характеристик объектов являются емкость объекта и запаздывание процесса регулирования.

Емкостью объекта называют его способность накапливать или отдавать вещество или энергию.

Емкость оказывает большое влияние на характер переходного процесса в системах регулирования.

Под *запаздыванием* понимается задержка во времени изменения регулируемого параметра после возмущения. Примером транспортного запаздывания может служить запаздывание увеличения давления в конце длинного трубопровода после изменения производительности вентилятора под воздействием регулятора. В этом случае величина запаздывания будет зависеть от длины линии.

В такой же линии, но большего диаметра, запаздывание будет еще больше, потому что на величину запаздывания будет влиять увеличенная емкость линии. Такое запаздывание называется *емкостным*.

Запаздывание приводит к ухудшению качества процесса автоматического регулирования, поэтому в системах регулирования запаздывание стремятся свести к минимальным значениям.

Как уже указывалось, переходные процессы регулирования могут быть сходящимися и расходящимися. В зависимости от этого различают устойчивые и неустойчивые системы регулирования.

Устойчивостью называется свойство системы возвращаться в первоначальное состояние после снятия возмущающего воздействия. На устойчивость систем регулирования значительно влияет характеристика объекта.

В некоторых объектах после снятия возмущения контролируемый параметр без регулирующего воздействия возвращается в исходное состояние. Такие объекты называются *объектами с самовыравниванием*. Примером такого объекта может служить шарик, катящийся по внутренней поверхности трубы.

Другим примером устойчивой системы является уровень в водохранилище, в которое вода поступает из нескольких рек и уходит тоже по нескольким руслам. Если приток воды увеличится, это приведет к увеличению уровня в водохранилище, что, в свою очередь, повысит сток из водохранилища. Таким образом, уровень в водохранилище после небольших колебаний займет новое устойчивое положение, соответствующее новому приходу и уходу воды.

Объекты, которые не приходят в состояние равновесия, называются *объектами без самовыравнивания*. Примером может служить шарик, катящийся по наружной поверхности трубы. Любое возмущение, нанесенное в виде усилия, направленного в сторону от направления движения шарика, приводит к тому, что шарик скатится с трубы и не возвратится на прямолинейный путь. В данном случае прямолинейное движение шарика не является устойчивым.

Реакция системы на ступенчатое входное воздействие называется *временной характеристикой*.

Выходная величина после нанесения возмущения и начала переходного процесса зависит не только от свойств объекта, но и от величины и вида возмущения.

Свойства объекта можно оценить по характеру изменения выходной величины после однократного ступенчатого изменения входного сигнала (рис. 80, а).

Кривая изменения выходной величины во времени при однократном ступенчатом изменении входного сигнала называется *разгонной характеристикой*. Ее получают, как правило, опытным путем.

Для оценки динамических свойств объекта можно использовать также импульсную характеристику.

Импульсной характеристикой называют зависимость выходной величины от времени при воздействии на входе сигнала в виде прямоугольного импульса (рис. 80, б). Необходимо отметить, что за время действия короткого импульсного сигнала выходная величина не достигает своего установившегося значения, как это имело место при разгонной характеристике.

Кроме разгонной и импульсной характеристик объект может характеризоваться *частотными характеристиками*.

При определении частотных характеристик устанавливают зависимость гармонических колебаний выходного параметра от заданных гармонических колебаний, подаваемых на вход объекта. В общем случае колебания, получаемые на выходе регулируемого объекта, отличаются от подаваемых на вход колебаний как по фазе,

так и по амплитуде (рис. 80, в), что определяется динамическими характеристиками объекта.

Амплитудно-частотной характеристикой называется зависимость отношения амплитуды колебаний на выходе регулируемого объекта к амплитуде колебаний на входе от частоты.

Сдвиг по фазе между колебаниями входной и выходной величин в зависимости от частоты называется *фазочастотной характеристикой*.

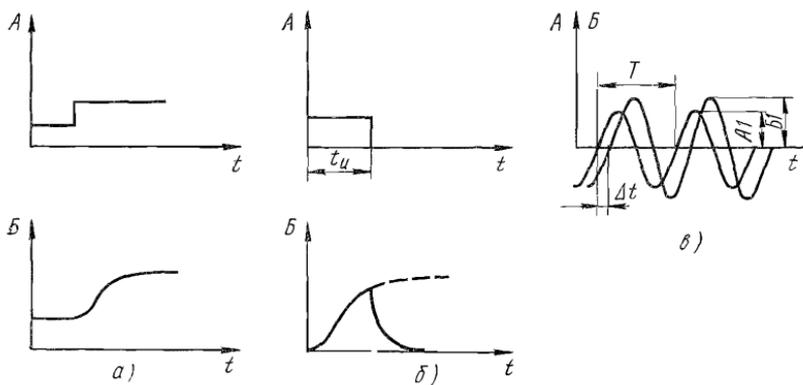


Рис 80 Временные характеристики объекта
 a — разгонная, b — импульсная, $в$ — частотная, A — входной сигнал, B — выходной сигнал, t_u — время импульса, Δt — время отставания выходных гармонических колебаний, $A1$ — амплитудное значение входного сигнала, $B1$ — амплитудное значение выходного сигнала, T — период

Характеристика объекта оказывает решающее значение при выборе регулятора системы регулирования. Кроме того, что система регулирования должна быть устойчивой, она должна удовлетворять определенным требованиям качества процесса регулирования. Качество процесса регулирования оценивается по трем основным показателям: по времени затухания переходного процесса в системе, по максимальным отклонениям величины (параметра) от заданного значения и по остаточному отклонению величины после окончания переходного процесса.

В каждом отдельном случае требования к качеству процесса регулирования выбираются с учетом технологических особенностей регулируемого объекта. Качество процесса регулирования зависит как от свойств самого объекта регулирования, так и от свойств автоматического регулятора.

Свойства регулируемого объекта определяются его конструкцией и режимом работы. В свою очередь свойства регулятора определяются его типом и настройкой.

§ 41. Основные законы регулирования

Закон регулирования — это зависимость перемещения регулирующего органа от отклонения регулируемого параметра.

Основными законами регулирования, по которым строятся автоматические системы регулирования, являются пропорциональный, интегральный, пропорционально-интегральный и пропорционально-интегрально-дифференциальный законы.

На рис. 81 представлена простейшая система автоматического регулирования с пропорциональным регулятором, называемым П-регулятором.

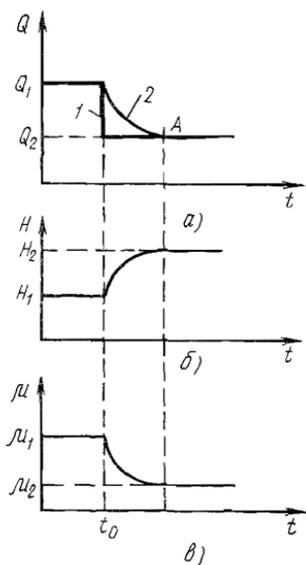


Рис. 82. Графики переходного процесса статического регулятора:

а — изменения расхода, *б* — изменения уровня, *в* — относительного перемещения регулирующего органа; 1 — линия расхода воды, 2 — кривая притока воды

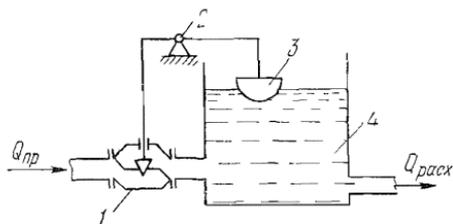


Рис 81 Схема регулятора прямого действия:

1 — регулирующий рычаг, 3 — поплавок, 4 — емкость (бак)

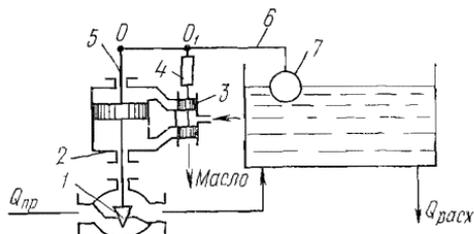


Рис. 83. Статический регулятор косвенного действия:

1 — регулирующий орган, 2 — гидроцилиндр, 3 — золотник, 4 — тяга, 5 — шток, 6 — рычаг, 7 — поплавок

Система предназначена для поддержания постоянного уровня в баке 4. Когда расход $Q_{расх}$ равен приходу воды $Q_{пр}$, система находится в устойчивом состоянии и регулирующий орган 1 не работает. Если баланс расхода и прихода воды нарушится, уровень в баке изменит свое положение и поплавок 3 через систему рычагов, поворачивающихся вокруг опоры 2, переместит регулирующий орган.

На графиках рис. 82 изображены процессы изменения количества поступающей воды Q_n (кривая 2), уходящей воды $Q_{расх}$ (линия 1), уровня H (график б) и относительного положения регулирующего органа μ (график в).

В момент времени t_0 потребитель сократил расход воды из бака со значения Q_1 до значения Q_2 (линия 1). В связи с тем что приток воды в бак не изменился, уровень в баке начал расти (график б).

Увеличение уровня привело к перемещению регулирующего органа (график ϵ), что в свою очередь уменьшило приток воды в бак (кривая 2). В точке A приток воды в бак $Q_{пр}$ стал равен расходу воды из бака $Q_{расх}$, поэтому рост уровня прекратился, а следовательно, прекратилось перемещение регулирующего органа. Переходный процесс закончился и система пришла в новое установившееся состояние с новым значением уровня H_2 .

Таким образом, у П-регулятора, реализующего закон пропорционального регулирования, перемещение регулирующего органа пропорционально отклонению регулируемого параметра.

Примером регулятора косвенного действия является регулятор, показанный на рис. 83.

При подъеме поплавка 7 рычаг 6 поднимается, поворачиваясь вокруг точки O . Рычаг 6 связан через тягу 4 с золотником 3. Золотник, перемещаясь, открывает доступ масла от маслонапорной установки в полость цилиндра, расположенную выше поршня. Под воздействием давления масла поршень идет вниз и, перемещая регулирующей орган 1, прикрывает клапан. Движение поршня вниз через шток 5 передается рычагу 6.

Точка O_1 будет перемещаться также вниз, следуя за движением поршня. Перемещение точки O_1 и тяги 4 поставит золотник 3 в прежнее положение, перекрыв каналы подачи масла в верхнюю полость цилиндра и слива масла из нижней полости. Движение поршня остановится и процесс регулирования закончится при новом установившемся значении уровня.

В этом регуляторе осуществлена жесткая обратная связь с помощью штока 5. Действительно, чем больше откроется золотник, тем больший ход совершит поршень. Но так как ход поршня через шток 5 и рычаг 6 передается золотнику, то быстрее перекроются золотниковые отверстия. Таким образом, процесс пропорционального регулирования характеризуется следующими особенностями.

При новом технологическом режиме после окончания переходного процесса в новом установившемся состоянии регулируемый параметр не будет соответствовать старому значению. Разница между исходными и установившимися значениями регулируемого параметра (в данном случае между значениями уровней) называется *неравномерностью регулятора*.

Второй особенностью является наличие жесткой обратной связи у регуляторов косвенного действия. Жесткая обратная связь обеспечивает необходимую зависимость между величиной регулируемого параметра и нагрузкой объекта.

Системы регулирования с использованием пропорциональных регуляторов, обладающих остаточной неравномерностью, называются *статическими*, а регуляторы, используемые в этих системах, *статическими*.

На рис. 82 был представлен процесс регулирования статической системы.

Интегральные регуляторы, называемые И-регуляторами, образуют систему *интегрального*, или *астатического*, регулирования. В

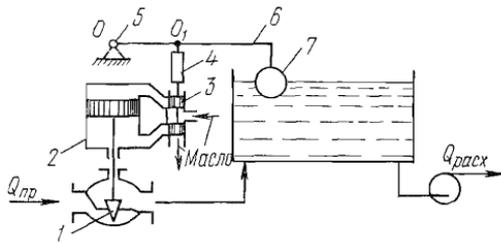


Рис. 84. Астатический регулятор косвенного действия.

1 — регулирующий орган, 2 — гидроцилиндр, 3 — золотник, 4 — тяга золотника, 5 — ось вращения рычага, 6 — рычаг, 7 — поплавок

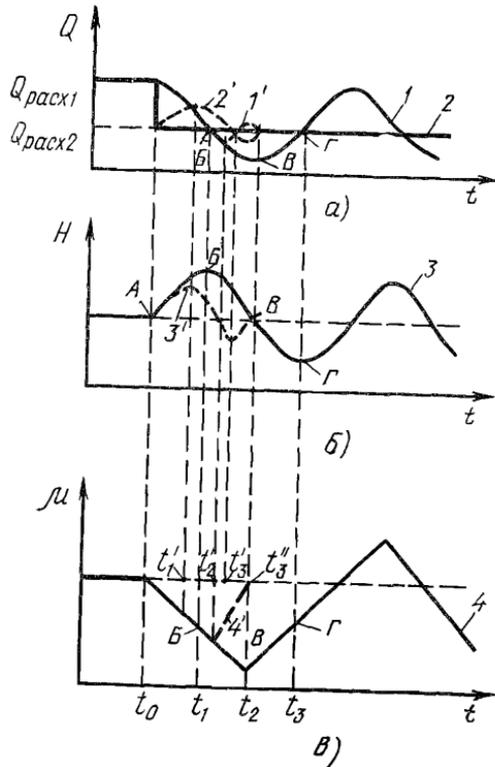


Рис. 85. Переходный режим системы регулирования:

а — графики притока и расхода воды из бака, б — графики колебания уровня в бак, в — графики относительного перемещения регулирующего органа, 1 — приток в бак системы без самовыравнивания, 1' — приток в бак системы с самовыравниванием, 2 — расход из бака системы без самовыравнивания, 2' — расход из бака системы с самовыравниванием, 3 — колебание уровня в баке системы без самовыравнивания, 3' — колебание уровня в баке системы с самовыравниванием, 4 — перемещение органа для системы без самовыравнивания, 4' — перемещение регулирующего органа для системы с самовыравниванием

этих регуляторах нет обратной связи, поэтому они могут применяться только на объектах с самовыравниванием (см. рис. 78).

Регулятор с грузом, уравновешивающим мембрану, является астатическим. В таком регуляторе нет обратной связи. Действительно изменение положения штока клапана не вызывает противодействия перемещению мембраны, в каком бы положении груз ни находился.

Повышение давления в емкости, как это было показано на графике рис. 79, а, вследствие уменьшения расхода не может быть бесконечным, так как сопротивление емкости растет и количество поступающего в емкость воздуха уменьшается. Поэтому этот объект со сходящимся колебательным процессом.

На рис. 84 показана схема регулирования уровня в баке без обратной связи. В регуляторе шток, соединяющий поршень с рычагом б, снят и тем самым ликвидирована обратная связь. По сравнению со схемой на рис. 83 здесь установлен насос, откачивающий воду из бака. Это делает объект несамовыравнивающимся, так как повышение или снижение уровня в баке практически не влияет на производительность насоса.

Проследим процесс регулирования астатическим регулятором. В момент времени t_0 расход воды из бака снизится с $Q_{расх1}$ до $Q_{расх2}$ (линия 2 на рис. 85, а). Снижение расхода приводит к повышению уровня (участок АБ кривой 3 на рис. 85, б). В результате повышения уровня поплавков 7 через рычаг 6 (см. рис. 84) и тягу 4 передает движение на золотник 3. Золотник пойдет вверх и откроет доступ масла из маслонапорной установки в верхнюю полость гидроцилиндра 2.

Поршень под действием давления масла пойдет вниз (линия 4 на рис. 85, в), и регулирующий орган 1 начнет уменьшать проходное сечение клапана. Количество воды, поступающей в бак, начнет падать (кривая 1 на рис. 85, а).

В момент времени t_1 расход и приток воды в бак сравниваются. Этот момент будет точкой перегиба кривой изменения уровня на графике рис. 85, б.

Однако в связи с тем, что уровень находится выше нормально установленного, а обратная связь в регуляторе отсутствует, золотник будет находиться в верхнем положении и масло будет продолжать поступать в полость над поршнем. Движение регулирующего органа не прекратилось (участок Б—В линии 4 на рис. 85, в). Благодаря этому приток воды в бак продолжает падать (участок Б—В кривой 1 на рис. 85, а).

Так как на участке графика Б—В приток воды меньше, чем расход воды из бака, уровень начнет падать и в момент времени t_2 станет равным исходному. Следовательно, в момент времени t_2 золотник встанет в нейтральное положение и перекроет подачу масла в гидроцилиндр.

Но регулирующий орган находится в состоянии, когда приток воды меньше расхода, поэтому уровень в баке начнет снижаться (участок В—Г кривой 3 на рис. 85, б). Сигнал о снижении уровня передается на золотник и он откроет доступ масла в нижнюю полость гидроцилиндра, соединив верхнюю полость со сливом масла.

В результате поршень пойдет вверх (участок В—Г линии 4 на рис. 85, в) и начнет открывать клапан. Приток воды в бак начнет увеличиваться (участок В—Г кривой 1 на рис. 85, а). Так как приток воды во время от t_2 до t_3 все же меньше расхода, уровень продолжает снижаться (участок В—Г кривой 3 на рис. 85, б). В момент t_3 приток и расход воды сравниваются, но в это время уровень находится в положении ниже нормального, поэтому золотник пропускает масло в нижнюю полость гидроцилиндра и клапан продолжает открываться. Далее процесс аналогичен вышеописанному.

Как видно из описания, процесс не придет к установившемуся состоянию. Поэтому астатические регуляторы нельзя применять для объектов, не обладающих самовыравниванием.

Для примера на тех же графиках пунктиром нанесен режим объекта с самовыравниванием. Пусть вода из бака уходит самоотекотом и при увеличении уровня, благодаря повышенному напору

ру, слив из бака увеличивается, а при понижении уровня уменьшается.

Тогда в момент воздействия возмущения t_0 , благодаря действию регулятора, приток воды в бак, как описывалось выше, начнет уменьшаться (кривая 1 на рис. 85, а), но в связи с тем, что уровень в баке повышается (участок А—Б кривой 3 на рис. 85, б), расход воды из бака возрастет (кривая 2' на рис. 85, а). Это приведет к тому, что расход и приток воды в бак сравняются раньше в момент t_1' .

После момента времени t_1' расход воды из бака становится больше притока. Далее, так как уровень выше нормы, клапан будет продолжать закрываться (кривая 4 на рис. 85, в). Но в связи с тем, что уровень (кривая 3' на рис. 85, б) падает, расход из бака (кривая 2' после момента t_1') также будет уменьшаться.

Во время t_2' уровень станет равным норме, но процесс не окончится, так как клапан закрыт больше нормы. В этот момент приток воды минимальный. Дальше уровень продолжает падать, так как приток воды меньше расхода.

Так как уровень падает, клапан начинает движение в сторону открытия. Это ведет к увеличению притока. Во время t_3' приток и расход опять сравняются. Далее процесс повторяется.

В момент t_3'' приток и расход снова сравняются. В это время уровень будет равен норме, а клапан будет стоять в положении, с которого начался процесс, поэтому в этот момент переходный процесс окончится и система придет в установившееся состояние.

При применении астатического регулятора переходный процесс заканчивается без остаточной неравномерности.

Регулирующее воздействие у астатического регулятора пропорционально площади кривой отклонения регулируемого параметра, поэтому регулирующий орган у астатического регулятора будет перемещаться до тех пор, пока регулируемая величина не станет равна заданному значению.

Пропорционально-интегральные регуляторы, или ПИ-регуляторы, называются *изодромными*. Для создания изодромного регулятора в конструкцию его вводят гибкую или упругую обратную связь (рис. 86).

В отличие от астатического и статического регулятора (см. рис. 83 и 84) точка О этого регулятора соединяется с поршнем гидроцилиндра, образуя обратную связь, но соединение этой точки происходит через малый гидроцилиндр обратной связи 5. Одновременно точка О рычага 7 подвешена пружиной 6 к жесткой опоре.

Обе полости малого гидроцилиндра, соединенные между собой трубкой с вентилем 4, заполнены маслом. Таким образом, масло может перетекать из одной полости в другую. Устройство малого гидроцилиндра и пружины образуют отрицательную обратную связь.

Рассмотрим процесс перемещения регулирующего органа после воздействия возмущения. Пусть потребитель снизил расход воды из бака, тогда уровень в баке начнет повышаться. Повышение

уровня через рычаг 7 передается золотнику 3, который откроет доступ масла от маслonaпорной установки в верхнюю полость гидроцилиндра 2.

Под действием давления масла поршень гидроцилиндра 2 начнет перемещаться вниз, прикрывая регулирующий орган 1. В своем движении вниз поршень увлечет за собой малый гидроцилиндр, передвигая через рычаг 7 золотник ближе к среднему положению. Таким образом, до этого момента регулятор работал как пропорциональный с жесткой обратной связью.

Передвинувшаяся вниз точка O рычага 7 вызовет растяжение пружины 6, которая будет подтягивать вверх всю систему. Но так как пружина не в силах преодолеть действия главного поршня, то масло в малом гидроцилиндре из нижней полости через вентиль 4 будет перетекать в верхнюю полость.

Следовательно, система — главный поршень, верхний шток и малый поршень — останется в том же положении, а гидроцилиндр

5 под действием пружины по мере перетекания масла начнет перемещаться вверх. Точка O и рычаг 7 также начнут двигаться вверх, увлекая поршень золотника 3. В результате вход масла в верхнюю полость главного гидроцилиндра будет увеличен, что приведет к еще большему закрытию регулирующего органа 1.

Таким образом, первое движение регулирующего органа было осуществлено в режиме пропорционального регулирования, а второе — в режиме интегрального, или астатического, регулирования.

На рис. рис. 87, *a* и *б* показан идеализированный переходный процесс изодромного регулирования.

В момент времени t_1 система получила возмущение в виде сократившегося расхода и уровень в баке стал расти (см. рис. 87, *a*). В результате регулирующий орган переместится пропорционально отклонению регулируемого параметра (линия *A—B* на рис. 87, *б*). Затем вступает в действие гибкая обратная связь и регулирующий орган начинает перемещаться по закону астатического регулирования, т. е. пропорционально нарастанию площади кривой отклонения регулируемого параметра (линия *B—B* на рис. 87, *б*).

Величину доли жесткой и упругой связи на изодромном регуляторе (см. рис. 86) можно менять вентилем 4. Если им полностью перекрыть трубопровод, соединяющий верхнюю и нижнюю поло-

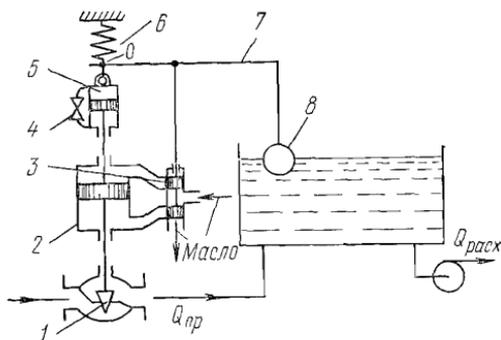


Рис. 86. Схема изодромного регулятора:
1 — регулирующий орган, 2 — силового гидроцилиндр, 3 — золотник, 4 — перепускной вентиль, 5 — гидроцилиндр обратной связи, 6 — пружина, 7 — рычаг, 8 — поплавок

сти гидроцилиндра 5, то регулятор превратится в пропорциональный. Перетекание масла будет невозможным и связь точки O с основным поршнем станет жесткой, как на рис. 83.

Если вентиль 4 открыть полностью, масло будет совершенно свободно перетекать из полости в полость, а гидроцилиндр 5 будет перемещаться относительно малого поршня без заметного сопротивления. Связь основного поршня с точкой O будет потеряна и регулятор превратится в полностью астатический (см. рис. 84).

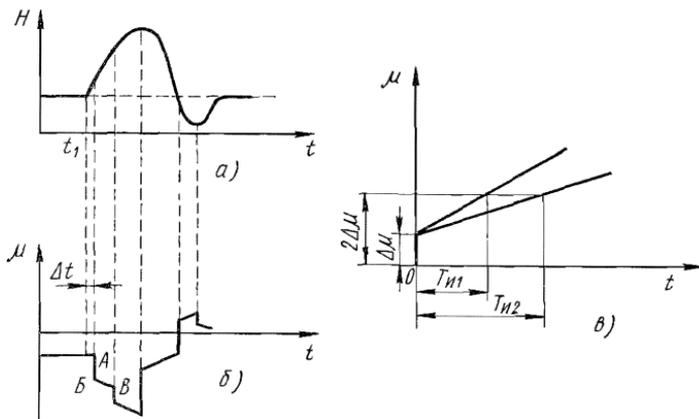


Рис. 87. Графики, характеризующие процесс регулирования:
 a — график колебания воды в баке, b — график относительного перемещения регулирующего органа, v — изодромные характеристики регулятора; ΔH — неравномерность регулятора, Δt — нечувствительность регулятора, $T_{И1}$, $T_{И2}$ — время издрорма

На рис. 87, v показаны изодромные характеристики ПИ-регулятора.

В момент O происходит резкое изменение регулируемой величины. В результате регулирующий орган под действием пропорциональной составляющей регулятора переместится (вертикальная прямая $\Delta\mu$). Затем начинается действие изодромной части регулятора (одна из наклонных прямых).

Одним из параметров настройки регулятора является *время издрорма* регулятора.

Время издрорма регулятора — это время действия астатической составляющей, в течение которого относительное перемещение регулирующего органа превысит вдвое ($2\Delta\mu$) относительное перемещение регулирующего органа, возникшее в результате действия пропорциональной части. Чем больше время издрорма, тем медленнее снимается действие упругой обратной связи.

В выпускающихся промышленностью регуляторах имеется возможность менять время издрорма и таким образом регулировать величину статической и астатической части регулятора.

Издромный регулятор совмещает преимущества пропорционального и интегрального регулятора.

Системы регулирования с изодромными регуляторами обладают высокой устойчивостью. Применение ПИ-регулятора позволяет получить процесс без остаточной неравномерности. Благодаря этим свойствам изодромные регуляторы нашли широкое применение в системах автоматического регулирования.

В тех случаях, когда необходимо получить характеристики переходного процесса с учетом скорости изменения отклонения регулируемого параметра, применяют пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы — ПИД-регуляторы, или регуляторы предварения. Такой регулятор в начале отклонения регулируемого параметра учитывает характер нарастания возмущения и соответственно перемещает регулирующий орган. Такие регуляторы применяются в сложных системах регулирования с большими взаимными связями между отдельными каналами регулирования.

Контрольные вопросы

1. Что такое коэффициент избытка воздуха?
2. Что такое каскадное регулирование?
3. Что называется сигналом рассогласования?
4. Какая разница между объектами с самовыравниванием и без самовыравнивания?
5. Чем отличается статический регулятор от астатического?
6. Как работает изодромный регулятор?
7. Что такое время изодрома?

Глава X

АВТОМАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ

По роду своего действия регуляторы могут быть разделены на две группы: прямого и косвенного действия.

Регуляторы прямого действия используют для перемещения регулирующего органа энергию регулируемой среды, преобразованную измерительным устройством регулятора.

К преимуществам регуляторов прямого действия относится простота их конструкции и надежность работы, к недостаткам — относительно большая погрешность регулирования и недостаточно быстрое реагирование на отклонение регулируемой величины. Кроме того, усилия, развиваемые регуляторами прямого действия, в целом ряде случаев недостаточны для перемещения регулирующих органов. Для перемещения некоторых регулирующих органов (клапанов, задвижек и заслонок большого диаметра) необходимо развивать такие усилия, которые регуляторы прямого действия обеспечить не могут.

В регуляторах косвенного действия используется энергия стороннего источника, подводимая к исполнительному механизму. Регуляторы косвенного действия разделяются и именуется по виду используемой энергии: электрические, пневматические и гидравлические.

§ 42. Регуляторы прямого действия

Примером регулятора прямого действия является регулирующийся клапан 25ч10 иж, приведенный на рис. 88.

Клапан состоит из чугунного корпуса 1, закрытого снизу фланцевой крышкой 2, которая закрывает отверстие для спуска запол-

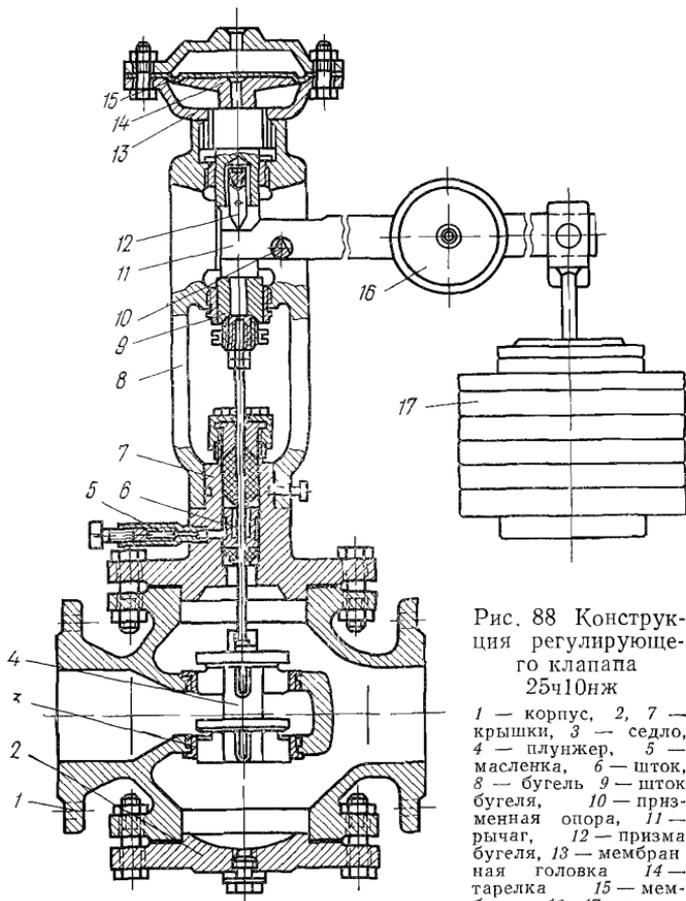


Рис. 88 Конструкция регулирующегося клапана 25ч10ИЖ

1 — корпус, 2, 7 — крышки, 3 — седло, 4 — плунжер, 5 — масленка, 6 — шток, 8 — бугель, 9 — шток бугеля, 10 — призматическая опора, 11 — рычаг, 12 — призма бугеля, 13 — мембранная головка, 14 — тарелка, 15 — мембрана, 16, 17 — грузы

няющей клапан среды и для чистки клапана. В корпус клапана ввернуты седла 3 из нержавеющей стали. На седла садится плунжер 4. Рабочие поверхности плунжера притерты к седлам 3. Плунжер соединен со штоком 6, который может поднимать и опускать плунжер. Шток ходит в сальниковом устройстве. Сальник уплотняет крышку 7, крепящуюся к корпусу клапана. Для смазки трущихся поверхностей штока в сальниковое устройство подается масло из масленки 5. Клапаном управляет мембранно-рычажное уст-

ройство, состоящее из бугеля 8, мембранной головки 13, рычага 11 и грузов 16 и 17.

В мембранной головке между верхней и нижней чашей зажата резиновая мембрана 15, опирающаяся на тарелку 14, посаженную на шток 9 бугеля. В штоке 9 закреплен шток 6. Шток бугеля имеет призму 12, на которую опирается рычаг 11, вращающийся на призменной опоре 10, закрепленной в бугеле 8.

В верхней чаше мембранной головки имеется отверстие, в котором закрепляется импульсная трубка, подводящая импульс давления к мембране. Под действием увеличенного давления мембрана прогибается и увлекает тарелку 14 и шток бугеля 9 вниз. Усилие, развиваемое мембраной, уравнивается грузами 16 и 17, подвешенными на рычаге. Грузы 17 служат для грубой регулировки заданного давления. С помощью груза 16, перемещающегося вдоль рычага, производят более точную регулировку клапана.

Давление на мембранную головку передается непосредственно регулируемой средой. Для этого используются две схемы регулирования.

Клапаны 25ч10нж используются в схеме регулирования давления «после себя». В этом случае регулирующий клапан поддерживает постоянное давление за собой по направлению регулируемого потока. Для этого за клапаном делается устройство отбора давления, и среда по импульсной трубке подается на мембрану клапана. При превышении заданного давления, на которое настроен клапан с помощью грузов, мембрана начнет прогибаться, и плунжеры будут перекрывать отверстия в седлах, уменьшая расход среды через клапан, что приведет к снижению давления за клапаном.

Во второй схеме клапаны 25ч12нж регулируют давление «до себя». В конструкции этих клапанов плунжер перевернут и при ходе штока вниз проходное отверстие в седлах увеличивается.

Импульс давления при регулировании по этой схеме снимается с трубопровода, на котором установлен клапан, до клапана по ходу технологического потока. При увеличении давления выше нормы клапан будет открываться, сопротивление, создаваемое клапаном, уменьшится и давление в точке отбора упадет.

Регулирующие клапаны прямого действия приведенной конструкции предназначены для регулирования давления воды, пара, воздуха и нефтепродуктов при температуре до 300°С и давлении до 16 кгс/см² (1570 кПа).

Клапаны с грузом являются астатическими регуляторами, поэтому они должны применяться в процессах с самовыравниванием. Диаметр условного прохода выпускающихся клапанов от 50 до 150 мм. Пределы регулируемого давления от 0,15 кгс/см² (14,7 кПа) до 13 кгс/см² (1270 кПа). Весь диапазон регулирования клапанов разбит на 10 зон. В зависимости от выбранной зоны регулирования на клапан ставится соответствующий номер мембранной головки и набор грузов определенной массы. Клапаны устанавливаются на горизонтальном участке трубопровода мембранной

головкой вверх, так, чтобы направление потока среды совпадало с направлением стрелки на корпусе, при этом рекомендуется, чтобы длина прямого участка трубопровода до и после клапана была не менее 10 условных диаметров трубопровода.

Вблизи импульсной трубки отбора давления на мембранную головку необходимо установить контрольный манометр. При регулировании процесса, в котором возможны резкие изменения расхода, на импульсной трубке устанавливается запорный вентиль.

При применении клапанов для работы на агрессивных средах полость мембранной головки над мембраной следует залить неагрессивной жидкостью.

В отличие от интегрального регулятора 25ч10нж, в котором усилие, развиваемое мембраной, уравнивается грузами только в одном положении, часто применяются регуляторы прямого действия с мембраной, уравниваемой пружиной. В этих регуляторах чем больше ход мембраны, тем больше сжатие пружины и, следовательно, больше ее сопротивление. Пружина выполняет роль элемента жесткой обратной связи. Поэтому такие регуляторы являются пропорциональными.

§ 43. Позиционные электрические регуляторы

Позиционными электрическими регуляторами называются устройства, в которых регулирование производится с помощью электрических контактов, срабатывающих при достижении контролируемой величиной определенного предела и остающихся в этом состоянии до тех пор, пока регулируемая величина находится за пределами настройки контактов.

Примером позиционного электрического регулятора может служить электродное реле уровня. Электрод реле устанавливается в определенном положении и, когда жидкая среда доходит до электрода, по цепи источник питания — электрод — жидкая среда — «земля» — реле — источник питания проходит ток, реле срабатывает и контакты реле остаются в замкнутом состоянии, пока жидкая среда омывает электрод, т. е. до тех пор, пока уровень снова не понизится.

Позиционные электрические регуляторы являются регуляторами косвенного действия, так как воздействуют на исполнительный элемент, подводя к нему электрическую энергию от постороннего источника через сработавшие контакты.

Позиционные электрические регуляторы, обладая большей простотой по сравнению с другими видами косвенных регуляторов, в целом ряде случаев, где не требуется значительная точность регулирования, позволяют осуществить стабилизацию контролируемой величины в заданных пределах.

Позиционные электрические регуляторы нашли большое распространение в процессах, в которых необходимо производить

включение или переключение агрегатов с электрическим приводом, так как замыкание выходных контактов регулятора без дополнительного преобразования может быть использовано как команда магнитному пускателю или контактору основной электрической схемы. Они удобны для использования в схемах технологических защит, когда критическое положение параметра должно вызвать действие аварийной сигнализации или включение резерва.

Электрические регуляторы бывают одно-, двух- и трехпозиционные.

Однопозиционные регуляторы — это регуляторы, у которых командное устройство может иметь многоконтактный или бесконтактный выход. Оно может настраиваться на срабатывание в любой точке зоны регулирования, но команда будет выдаваться только в этой одной точке.

Двухпозиционные регуляторы в отличие от однопозиционных имеют две выходные команды: «больше нормы» и «меньше нормы». Примером двухпозиционного регулятора может служить электродное реле уровня с двумя электродами, контролирующее два уровня. Не обязательно, чтобы в регулятор было встроено два реле. Существуют приборы, в которых контакты срабатывают при одной величине настройки, а размыкаются при другой. Такие регуляторы также являются двухпозиционными. Разница в величинах настройки срабатывания и размыкания таких регуляторов называется *дифференциалом регулятора*.

Трехпозиционные регуляторы имеют три позиции срабатывания: «меньше нормы», «норма», «больше нормы».

Позиционные регуляторы встраиваются во многие модификации вторичных приборов. Это позволяет визуально контролировать регулируемый технологический процесс по шкале прибора.

Примером одноконтактного двухпозиционного реле, обладающего дифференциалом, может служить широко распространенное реле давления РД-13. Реле предназначено для контроля или поддержания заданного значения давления путем размыкания или замыкания электрической цепи привода исполнительного механизма при изменении давления выше или ниже контрольной точки.

Принцип действия реле основан на уравнивании силы давления, действующей на сильфон, силами упругой деформации винтовой цилиндрической пружины и сильфона. Перемещение дна

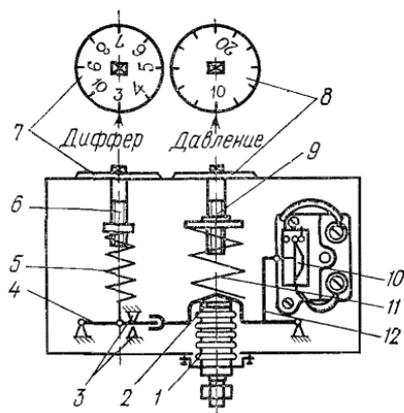


Рис. 89. Кинематическая схема реле давления РД-13:

- 1 — сильфон, 2 — головка сильфона, 3 — упоры, 4 — рычаг, 5 — пружина дифференциала, 6 — винт настройки дифференциала, 7 — головка настройки дифференциала, 8 — головка задачи, 9 — винт задачи, 10 — микропереключатель, 11 — пружина задачи, 12 — двулучий рычаг

сильфона, вызываемое изменением давления на него, используется для размыкания и замыкания контактов.

Кинематическая схема реле РД-13 представлена на рис. 89. Основными частями реле являются: сильфон 1, система рычагов 4 и 12, микропереключатель 10, пружина 11, работающая на сжатие, и пружина 5, работающая на растяжение.

Контролируемое давление через штуцер подводится к сильфону 1, который уравнивается пружиной 11. Поворачивая головку 8, можно менять натяжение пружины 11, а следовательно, усилие, с которым растягивается сильфон. Таким образом, головка 8 служит регулятором задания реле. В исходном положении, когда давление не превышает заданного предела, сильфон сжат силами пружины 11, которая повернула двуплечий рычаг 12 против часовой стрелки вокруг неподвижной правой опоры. Рычаг 12 вилкой нажимает на рычаг 4. Пружина 5 оказывается в растянутом состоянии. При повышении давления сверх задания сильфон преодолевает силы упругой деформации пружины 11 и растягивается. Головкой 2 сильфон давит на двуплечий рычаг 12, заставляя поворачиваться его по часовой стрелке вокруг неподвижной опоры. При повышении давления сила растяжения пружины 5 помогает передвигать рычаг 12. Своим вертикальным концом рычаг 12 нажимает на кнопку микропереключателя 10, воздействуя на две пары контактов в нем — замыкающих и размыкающих.

Все время пока давление регулируемой среды будет выше задания, сильфон будет растянут и микропереключатель переключен. Когда давление начнет падать, под действием сил пружин 11 сильфон начнет сжиматься. Двуплечий рычаг начнет поворачиваться против часовой стрелки, но вилка рычага находится в зацеплении с рычагом 4, поэтому пружине 11 кроме преодоления сил давления, действующих на сильфон, приходится растягивать пружину 5. Таким образом, при снижении давления сила растяжения пружины 5 противодействует перемещению рычага 12. Поэтому давление срабатывания и возврата микропереключателя не одинаково. Для того чтобы микропереключатель вернулся в исходное состояние, давление должно снизиться до величины, меньшей давления срабатывания. Дифференциал реле настраивается головкой 7. При повороте головки винт 6 создает больший или меньший предварительный натяг пружины 5. На головках давления и дифференциала нанесена оцифровка, облегчающая установку задания.

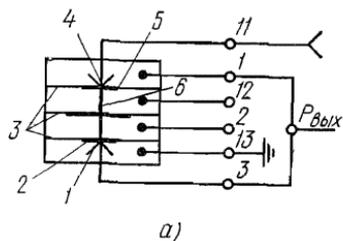
§ 44. Пневматические регуляторы

Наиболее прогрессивной системой пневмоавтоматики, выпускающейся промышленностью, является система «Старт» московского завода «Тизприбор». Эта система построена на элементах Универсальной системы промышленной пневмоавтоматики УСЭПА. Система пневмоавтоматики УСЭПА позволяет строить пневматические регуляторы по элементному принципу. Элементы УСЭПА представляют собой унифицированные функциональ-

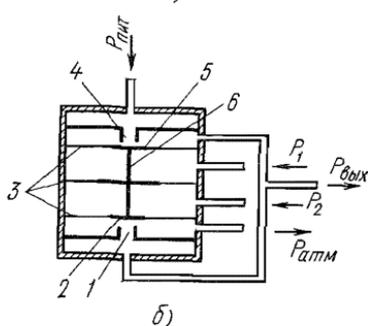
ные устройства дискретного или непрерывного действия, каждое из которых выполняет одну операцию. В систему входят: пневмокнопки, пневмотумблеры, пневмореле, пневмоэлемент, выполняющий роль дросселя, пневмоемкость, делители, повторители-усилители, задатчики, пневмоэлементы сравнения и пр.

На элементах УСЭППА могут быть собраны релейные схемы и схемы, подобные электронным: генераторы импульсов, триггеры, сумматоры, цепочки, аналогичные действию *RC*-цепей, и т. д.

На базе элементов УСЭППА могут быть созданы системы, подобные автоматическим телефонным станциям, в которых поворот диска вызывает любую из нескольких точек измерения, а ре-



а)



б)

Рис. 90. Усилитель сопло — заслонка:

1 — толкатель, 2 — мембрана, 3 — камера, 4 — соединительная трубка, 5 — питающая трубка с дросселем постоянного сечения, 6 — сопло, 7 — заслонка

Рис. 91. Универсальное реле ПР.1:

а — принципиальная схема, б — конструктивная схема; 1, 4 — сопла, 2, 5 — заслонки, 3 — резиноканевые мембраны, 6 — жесткий центр, P_1 , P_2 — давление сигналов, P_D — рабочее давление, $P_{\text{вых}}$ — командное давление

зультаты выводятся на показывающий прибор. С помощью элементов УСЭППА могут быть построены схемы, обеспечивающие определенные логические или программные последовательности, приборы, выполняющие математические операции, регуляторы и машины экстремального действия, т. е. такие, которые находят оптимальную точку ведения процессов и поддерживают ее.

Основные элементы УСЭППА могут работать в пожаро- и взрывоопасных условиях при температуре окружающего воздуха $5-50^\circ\text{C}$ и относительной влажности до 80%.

Основным узлом пневматических элементов является пневматический усилитель сопло—заслонка. Принцип работы узла показан на рис. 90.

Через трубку 5 в сопло 6 подается воздух с постоянным давлением $P_{\text{пит}}$. Истекая из сопла, воздух встречает сопротивление в виде заслонки 7. Через трубку 4 сопло соединено с камерой 3. В камере находится гибкая мембрана 2, соединенная с толкателем 1. Заслонка 7 в результате внешнего воздействия $F_{\text{вн}}$ может приближаться или отходить от сопла, увеличивая или уменьшая сопротивление истекающему воздуху. Если заслонка полностью перекрывает сопло, давление в камере 3 будет равно $P_{\text{пит}}$, мембрана прогнется вниз на максимальную величину и на такую же величину переместится толкатель 1. Если заслонка полностью отойдет от сопла, давление в камере 3 упадет до минимума — мембрана вернется в исходное состояние. Во всех промежуточных точках величина перемещения мембраны и толкателя, а также давление в камере 3 будет пропорционально положению заслонки по отношению к соплу.

В пневмоавтоматике, так же как и в электротехнике, существуют свои условные обозначения элементов и цепей. Так, ввод обозначается как хвостовик стрелы, выход в атмосферу — как «земля» в электросхемах, сопло—заслонка — как острие стрелки, упирающейся в поперечную линию, входной сигнал — кружочком диаметром 2 мм.

На рис. 91, а показана принципиальная схема универсального пневмореле ППР.1, а на рис. 91, б — конструктивная схема того же реле.

Реле является основным логическим элементом, предназначенным для выполнения элементарных логических операций с дискретными сигналами (т. е. сигналами, имеющими только два значения 0 или 1) в любых пневматических системах автоматического управления.

Реле состоит из трех плоских резинотканевых мембран 3, связанных по оси жестким центром 6. Под воздействием давления воздуха мембраны могут прогибаться в ту или другую сторону. В центре мембран закреплены жесткие диски, которые выполняют роль заслонок 2 и 5. При перемещении мембран заслонки упираются в сопла 4 или 1, жестко укрепленные в корпусе реле. Штуцера элементов УСЭППА однозначно пронумерованы.

Давление сигналов P_1 и P_2 подаются на штуцера № 2 и № 12. Выходная команда снимается со штуцеров № 1 и № 3, соединенных между собой. Штуцер № 11 служит для подвода давления питания. Штуцер № 13 имеет выход в атмосферу.

Реле может осуществлять самые различные функциональные зависимости. Рассмотрим некоторые из них.

Пусть на штуцер № 2 подается давление подпора P_2 . На штуцер № 12 подается управляющая команда в виде давления P_1 . Давление P_1 больше давления подпора P_2 . При отсутствии команды под действием давления P_2 мембраны отклонятся к соплу питания 4 и заслонка 5 перекроет подачу питающего воздуха.

Вместе с тем заслонка 2 отойдет от сопла 1. В результате выходная командная линия через сопло 1 и штуцер № 13 окажется

связанной с атмосферой и давление в ней снизится. На выходе реле будет команда «0». Если на штуцер № 12 будет подан сигнал, то под действием давления P_1 жесткий центр мембраны отклонится к соплу 1. Заслонка 2 перекроет выход в атмосферу, в то же время через сопло 4 рабочее давление P_p будет подано в линию команды. На выходе реле возникает команда «1» аналогично замкнувшемуся контакту электромагнитного реле. Если сигнал снять, то сопло 4 вновь будет перекрыто давлением подпора и команда на выходе реле исчезнет.

Таким образом, реле, соединенное по приведенной схеме, соответствует замыкающему контакту электромагнитного реле.

Пусть теперь давлением подпора будет P_1 , а давлением команды P_2 . Давление команды P_2 больше P_1 . При отсутствии команды P_2 мембраны прогнутся и перекроют сопло 1, закрыв выход в атмосферу. Рабочее давление P_p (штуцер № 11) через сопло 4 передается на выход реле, т. е. на выходе реле команда «1». При получении сигнала P_2 (штуцер № 2) сопло 4 будет перекрыто, а сопло 1 соединит выходную линию с атмосферой. На выходе будет команда «0».

Пневмореле, соединенное по этой схеме, соответствует размыкающему контакту электромагнитного реле.

В математической теории, называемой алгеброй логики, которой подчиняются законы построения релейных схем, первый разобранный вариант называется операцией повторения «ДА», потому что при подаче сигнала «1» на выходе также возникает команда «1». Вторая схема называется операцией отрицания «НЕТ», потому что при подаче сигнала «1» на реле на выходе команда исчезнет, иначе говоря на выходе будет команда «0».

Если собрать схему, соответствующую первому варианту, т. е. подпор P_2 подать на штуцер № 2, а сигнал P_1 на штуцер № 12, но рабочее давление (штуцер № 11) тоже считать за сигналы P_3 , то на выходе будет появляться команда только тогда, когда есть давление одновременно и на штуцере № 12 (P_1), и на штуцере питания № 11 (P_3). Если давление подано только на штуцер № 11 (P_3), то оно не пройдет на выход, так как сопло 4 перекрыто. Если давление будет подано только на штуцер № 12 (P_1), сопло 4 откроется, но так как давление P_3 не подано на выход (штуцер № 11), команды на выходе тоже не будет. Такая схема соединения называется операцией «КОНЪЮНКЦИЯ» («И»), так как команда возникает только при подаче сигнала и на первый (штуцер № 11), и на второй (штуцер № 12) вход реле.

Разберем еще одну схему. Пусть давление подпора подается на штуцер № 2, рабочее давление на штуцер № 11, первый сигнал P_1 на штуцер № 12, штуцер № 13 отсоединен от атмосферы и на него подается второй сигнал P_2 , равный P_1 . Тогда, если сигналов нет, под действием давления подпора сопло 4 перекрыто заслонкой 5 и на выходе реле команда «0». Если появляется сигнал на штуцере № 12, то так же, как в первой схеме, на выходе возникает команда «1». Если сигнал P_1 не подавать, а подать сигнал

на штуцер № 13, то давление сигнала через сопло *I* будет передано в командную линию и на выходе тоже будет команда «1». Если будет подан сигнал на оба входа (штуцера № 12 и № 13), то под действием давления P_1 мембраны прогнутся и закроется сопло *I*, второй сигнал будет перекрыт, но давление питания через сопло *4* попадет в командную линию и на выходе опять будет команда «1». Таким образом, такая схема соответствует двум параллельно включенным замыкающим контактам электромагнитного реле. Такая схема называется «ДИЗЪЮНКЦИЯ» («ИЛИ»).

Этими схемами не ограничиваются операции, которые можно собрать на пневмореле. Возможны и другие более сложные варианты. Габаритные размеры реле $30 \times 30 \times 35$ мм, масса не более 60 г.

Примером одного из распространенных регуляторов системы «Старт» может служить регулятор ПР3.21, схема которого изображена на рис. 92. Регулятор предназначен для получения непрерывного регулирующего воздействия на исполнительный механизм с целью поддержания контролируемого параметра на заданном уровне.

По характеру своего воздействия регулятор является изодромным, т. е. обрабатывающим пропорционально-интегральный закон регулирования. Регулятор может быть использован для работы с преобразователями, вторичными приборами и задатчиками со стандартными пневматическими сигналами на выходе, т. е. давлением от 0,2 до 1,0 кгс/см² (19,6—98 кПа).

Основными узлами регулятора являются три пятимембранные элемента сравнения: *I*, *II* и *III*. Принцип работы элементов сравнения такой же, как у вышеописанного реле П1Р.1.

Резинотканевые мембраны соединены жестким стержнем. В камерах *A* и *E* имеется сопло-заслонка. В камеру *E* подается воздух от источника энергии, а камера *A* через сопло соединяется с атмосферой. При ходе стержня вниз сопло в камере *A* прикрывается, а в камере *E* заслонка отходит от сопла. В результате в выходную линию подается больше воздуха, а в атмосферу уходит меньше. Давление в выходной линии повышается.

Кроме элементов сравнения в схему прибора входит усилитель мощности *У*, трехклапанное реле *P*, дроссели *Д* и пневматическая емкость *V*.

При подаче сигнала в камеру *Г* усилителя мощности *У* резиноканевая мембрана прогибается вниз, надавливая соплом на малый шарик, который, в свою очередь, перемещает большой шариковый клапан, открывая ход из камеры *A* в камеру *B*. В камеру *A* подается питание сжатого воздуха. Воздух проходит через шариковый клапан в камеру *B* и оттуда в импульсную линию. Если давление в камере *Г* ослабнет, то мембрана прогнется вверх, шариковый клапан перекроет отверстие из камеры *A* в камеру *B* и в то же время малый шарик откроет вход воздуха в сопло. Через сопло излишний воздух попадет в камеру *B*, а оттуда в атмосферу. Таким образом, в импульсной линии создается такое же давлени-

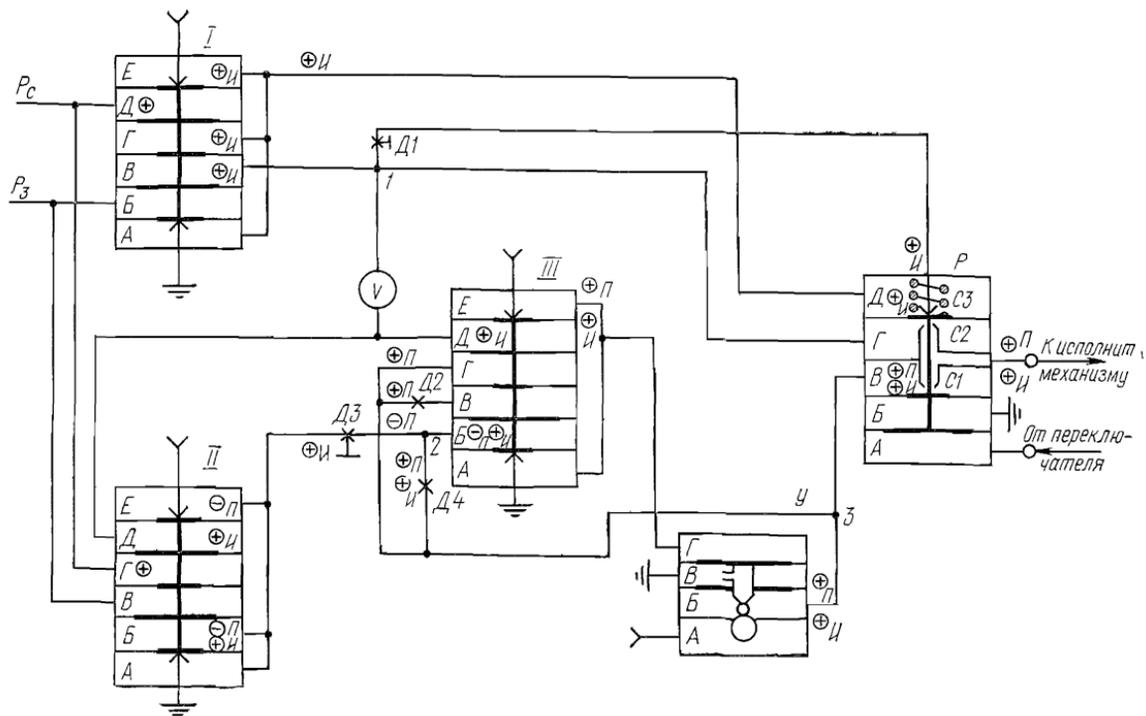


Рис. 92. Принципиальная схема регулятора ПРЗ 21:

I, II, III — элементы сравнения, *У* — усилитель мощности, *Р* — трехклапанное реле, *Д1, Д3* — регулируемые дроссели, *Д2, Д4* — постоянные дроссели, *V* — емкость, *P_с* — давление сигнала, *P_з* — давление задания

ние, как в камере *Б*. Количество воздуха, поступающего в импульсную линию из усилителя, гораздо больше, чем от элементов сравнения. Поэтому усилителем *У* производится усиление сигнала по мощности. Реле *Р* служит для переключения схемы регулятора с ручного на автоматическое управление.

В автоматическом режиме в камеру *А* не подается воздух. Под действием пружины камеры *Д* жесткий стержень оттянут вниз. Сопло в камере *Д* свободно, сопло *С2* в камере *Г* закрыто заслонкой, являющейся общей для камеры *Д* и *Г*. Сопло *С1* в камере *В* свободно и воздух от усилителя мощности *У* через сопло *С1* попадает в линию, ведущую к исполнительному механизму.

Если от переключателя подать давление воздуха в камеру *А* реле *Р*, мембрана в камере прогнется вверх, сопло *С1* будет закрыто и команда от усилителя мощности не будет попадать к исполнительному механизму. В то же время сопло *С2* будет открыто, а сопло *С3* закрыто. При этом с линией исполнительного механизма соединяется камера *Г* и в камере *В* элемента *І* устанавливается давление, равное давлению на исполнительном механизме, подготавливая процесс к плавному переходу на автоматическое управление после окончания работы в ручном режиме.

Дроссели создают дополнительное сопротивление в импульсной линии и таким образом регулируют количество воздуха, подаваемое в линию. Емкость представляет собой значительный местный объем (цилиндр 40 × 50 мм) и определяет емкостное запаздывание сигнала.

Элемент сравнения *ІІ* отрабатывает пропорциональную часть закона регулирования регулятора. Элемент сравнения *І* отрабатывает интегральную часть.

Рассмотрим работу схемы регулятора.

Для облегчения разбора схемы представим себе, что дроссель *Д1* полностью закрыт. Тогда воздух от элемента *І* (камера *Е*) через сопло *С3* (реле *Р*) не может попадать в точку *І* и в импульсную линию камеры *Д* элемента *ІІІ*. Таким образом, элемент *І* (интегральная часть регулятора) будет отключен.

Когда давление сигнала P_c равно давлению P_b , являющимся сигналом задатчика P_b , мембраны элементов *ІІ* и *ІІІ* находятся в равновесии и на исполнительном механизме существует определенное неизменяющееся давление.

Пусть давление сигнала P_c изменилось в сторону увеличения, тогда в камере *Г* элемента *ІІ* давление возрастет, что обозначено знаком плюс в кружке. Равновесие мембранного механизма элемента *ІІ* будет нарушено. Под действием возросшего давления жесткий стержень пойдет вверх. Сопло в камере *Е* будет прикрываться, в результате давление в камере начнет падать, что обозначено знаком минус в кружке с индексом *ІІ* (пропорционально). Если бы в элементе не было устройства отрицательной обратной связи, сопло в камере *Е* в конце концов было бы перекрыто полностью, но камера *Е* связана импульсными трубками с камерами *А* и *Б*.

Как уже говорилось, камера A служит для связи с атмосферой. Так как давление в импульсной линии на выходе из камеры E понизилось, то оно понизилось и в камере B (кружок со знаком минус и индексом $П$). Следовательно, давление на мембрану в камере B упало, что скомпенсировало повышение давления в камере $Г$.

Уменьшение давления на выходе элемента II передается по импульсной линии через дроссель $D3$ в камеру B элемента III . Жесткий стержень элемента III пойдет вниз, что вызовет увеличение давления в камере E элемента III и камере $Г$ усилителя $У$. На выходе усилителя в точке 3 появится усиленный по мощности сигнал повышенного давления. Этот сигнал через дроссель $D4$ попадет в точку 2 и камеру B элемента III .

Таким образом, ослабление поступающего на вход элемента III сигнала будет частично скомпенсировано положительным по давлению сигналом отрицательной обратной связи выхода усилителя мощности $У$. Подвижные системы элементов II и III пришли в равновесие при новом состоянии входных и выходных сигналов. Усиленный по мощности сигнал усилителя из точки 3 попадает в камеру B реле P (знак плюс в кружке с индексом $П$), а оттуда через сопло $C1$ к исполнительному механизму. Все звенья прохождения сигнала в элементах II и III охвачены жесткой обратной связью, поэтому команда, поступающая к исполнительному механизму, пропорциональна входному сигналу на элементе II .

В камеры $Г$ и B элемента III подается усиленный по мощности выходной сигнал. Этот сигнал является положительной обратной связью (камера B) и отрицательной связью (камера $Г$). Это сделано для устранения автоколебаний, могущих возникнуть в системе. Автоколебания, возникающие в случае нарушения равновесия системы, затормаживаются с помощью постоянного дросселя $D2$, включенного в линию положительной обратной связи (камера B). Коэффициент пропорциональности регулятора изменяется дросселем $D3$.

Рассмотрим работу интегральной части схемы.

Дроссель $D1$ должен быть открыт. Возросшее давление сигнала P_c , попадая в камеру D элемента I , выводит из равновесия мембранно-стержневую часть элемента. Мембрана в камере D прогибается вниз, из сопла в камере E начинает истекать большое количество воздуха и давление в камере возрастает (кружок со знаком плюс с индексом $И$). Обратная связь на элементе осуществляется подачей сигнала в камеру $Г$. Импульс повышенного давления из камеры E элемента I попадает в камеру D реле P , а оттуда через сопло $C3$ в импульсную линию и через дроссель $D1$ в точку 1 . Из точки 1 импульс повышенного давления направляется в камеру B и через емкость V , создающую задержку во времени, подается в камеру D элемента III . Таким образом, осуществляется положительная обратная связь в системе, обеспечивающая интегральную составляющую закона регулирования. Вместе с тем увеличенный по давлению импульс передается в камеру D элемента II . Это сделано в связи с тем, что положительная обратная связь на эле-

менте III вызовет возрастание давления не только в импульсной линии исполнительного механизма, но и в точке 2, следовательно, и в камере Б элемента II. Элемент II, являясь чисто пропорциональной частью схемы, не должен реагировать на положительную обратную связь интегральной части. Поэтому возросшее давление в камере Д компенсирует возросшее давление в камере Б элемента II. Переменное сопротивление дросселя Д1 позволяет регулировать величину положительной обратной связи за счет изменения времени интегрирования.

Конструктивно регулятор представляет собой металлическую коробку размерами 203 × 85 × 137 мм. Масса регулятора 3,2 кг. Регулятор может крепиться к корпусу вторичного пневматического прибора системы «Старт» с помощью штекерного разъема.

В систему «Старт» входят не только регуляторы ПР3.21. Есть регуляторы, в комплект которых входят задатчик, регуляторы соотношения двух величин, функциональные, вычислительные приборы и другие устройства, позволяющие производить различные математические операции. Схемы перечисленных приборов строятся по тому же принципу, что и регулятор ПР3.21.

В связи с тем, что давление питания должно быть 1,4 кгс/см², источником энергии для приведения регуляторов в действие должен служить сжатый воздух давлением до редуктора от 2,5 до 10 кгс/см² (245—980 кПа). К качеству подаваемого для пневмоавтоматики воздуха предъявляются особые требования, так как величина перемещения мембран и зазоры систем сопло — заслонка часто исчисляются долями миллиметра. Воздух, проходящий по этим трактам, должен быть сухим, очищенным от пыли и масла. Качественным считается такой воздух, в котором такое малое количество пыли и влаги, что образование капель, льда и забивание трубопроводов и деталей приборов исключено при любой возможной температуре окружающего воздуха.

§ 45. Гидравлические регуляторы

В последнее время начала развиваться новая ветвь гидроавтоматики — система автоматики СЭГРА.

Регуляторы на базе элементов СЭГРА обладают широкими схемными возможностями, высокими динамическими характеристиками, простотой конструкции, надежностью эксплуатации, невысокой стоимостью.

СЭГРА, так же как и элементы УСЭППА, построены по блочно-модульному принципу. Это позволяет из типовых блоков и модулей собирать различные схемы автоматического регулирования. На базе элементов СЭГРА могут быть построены пропорциональные, интегральные, пропорционально-интегральные регуляторы и регуляторы ПИД, т. е. работающие с предварением. Элементы СЭГРА позволяют создавать релейные схемы, схемы программных и других регуляторов. Набор элементов СЭГРА состоит из усилителей, дросселей, емкости, гидравлического реле и т. д. Система

все время дополняется вновь разрабатываемыми и выпускаемыми элементами.

Конструктивный принцип построения элементов СЭГРА такой же, как элементов УСЭППА: набор резиноканевых мембран, соединенных жестким центром. Торцы центра образуют систему сопло — заслонка. Принцип действия усилителя системы СЭГРА аналогичен принципу действия усилителя системы УСЭППА. Под действием прогибающейся мембраны шарик, соединенный с мембраной, больше или меньше перекрывает отверстие между входной и выходной камерами. Во входную камеру подается масло под повышенным по сравнению с сигналом управления давлением.

Преобразователи СЭГРА преобразуют измеряемый параметр в гидравлический сигнал. Для этого используется один из элементов системы — преобразователь усилия ПУ-2 (рис. 93).

Преобразователь усилия состоит из трех камер: камеры входного усилия *A*, камеры *B*, соединенной с отделением шарикового устройства, и камеры обратной связи *B*.

Входное механическое усилие *G* воспринимается жестким центром элемента сравнения, укрепленного на мембране *1* камеры *A*.

Мембрана *1* объединена жестким центром *3* с мембраной *4* камеры *B*. Под действием усилия обе мембраны прогнутся и увлекут шарик шарикового клапана *2*, связанный с мембранами. Шарик шарикового клапана откроет входное отверстие питания (штуцер № 1) и увеличит гидравлическое сопротивление прохода в камеру *B*, связанную через штуцер № 4 со сливом. Таким образом, давление масла в шариковой камере, а следовательно, и на выходе (штуцер № 3) увеличится пропорционально ходу мембран, т. е. входному усилию. Выходной штуцер № 3 связан через штуцер № 2 с камерой *B*. Увеличение давления на выходе приведет к увеличению давления в камере *B*. Так осуществляется жесткая обратная связь.

В качестве преобразователя механического усилия может быть использован ход мембраны или сильфона дифманометра, манометра или перемещающегося элемента любого другого прибора. Усилие перемещающегося элемента воспринимается преобразователем ПУ-2 и на выходе возникает сигнал гидравлического давления, пропорциональный усилию, действующему на первичный преобразователь, т. е. характеризующий состояние измеряемого параметра.

Элементы СЭГРА монтируются на платах. Связь между элементами осуществляется по каналам в платах, а внешние связи —

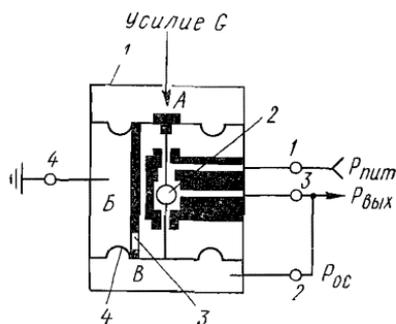


Рис. 93. Преобразователь системы СЭГРА:

1, 4 — мембраны, 2 — шариковый клапан, 3 — жесткий центр

медными трубками диаметром 6 мм. Соединение плат с трубками осуществляется при помощи штуцеров, вворачиваемых в платы, накладных гаек и ниппелей, надеваемых на развальцованные концы медных трубок.

Рабочей жидкостью для системы СЭГРА служит веретенное масло АУ. Давление питания 4 ± 10 кгс/см² (392—980 кПа). Пределы изменения выходных сигналов $0,25 \div 2,75$ кгс/см² (24,5—270 кПа).

Система СЭГРА может монтироваться во взрывоопасных помещениях. Примерные габариты элементов $50 \times 50 \times 60$ мм, масса около 0,5 кг.

§ 46. Электронные приборы Московского завода тепловой автоматики

Регулирующий прибор РПИБ Московского завода тепловой автоматики широко применяется для регулирования технологических процессов на теплоэнергетических станциях и в других производствах. Прибор обладает пропорционально-интегральной характеристикой, при применении дополнительной дифференцирующей приставки может осуществлять ПИД закон регулирования. Гибкая обратная связь в приборе осуществляется чисто электрическим путем с помощью RC-цепочки.

Длительность включения исполнительного механизма определяется как отклонением регулируемой величины от заданного значения, так и настройкой регулятора.

В состав регулирующего прибора входит электронный блок РПИ и измерительный блок, модификация которого зависит от вида преобразователя (термометр сопротивления, термомпара, дифтрансформаторный преобразователь и т. д.).

Электронный блок является общим для всех модификаций прибора. В электронном блоке происходит усиление входного сигнала, вырабатывается сигнал обратной связи и команда, действующая на пусковой орган исполнительного механизма.

Измерительный блок предназначен для приема и суммирования сигналов преобразователей и преобразования их в сигнал постоянного тока, воздействующего на электронный блок.

На рис. 94 показана схема измерительного блока И-III-62. Блок принимает сигналы дифтрансформаторных и реостатных преобразователей. Первичные обмотки дифтрансформаторных преобразователей в количестве до трех штук подключаются на зажимы 39—37, 36—34, 33—31. Таким образом, первичные обмотки преобразователей подключаются к зажимам вторичных обмоток трансформатора *Tr1*.

Вторичные обмотки преобразователей подключаются на зажимы 27—38, 26—35, 23—32.

Индуктированное во вторичной обмотке преобразователей напряжение оказывается приложенным к резисторам *R83*, *R82* и *R81*.

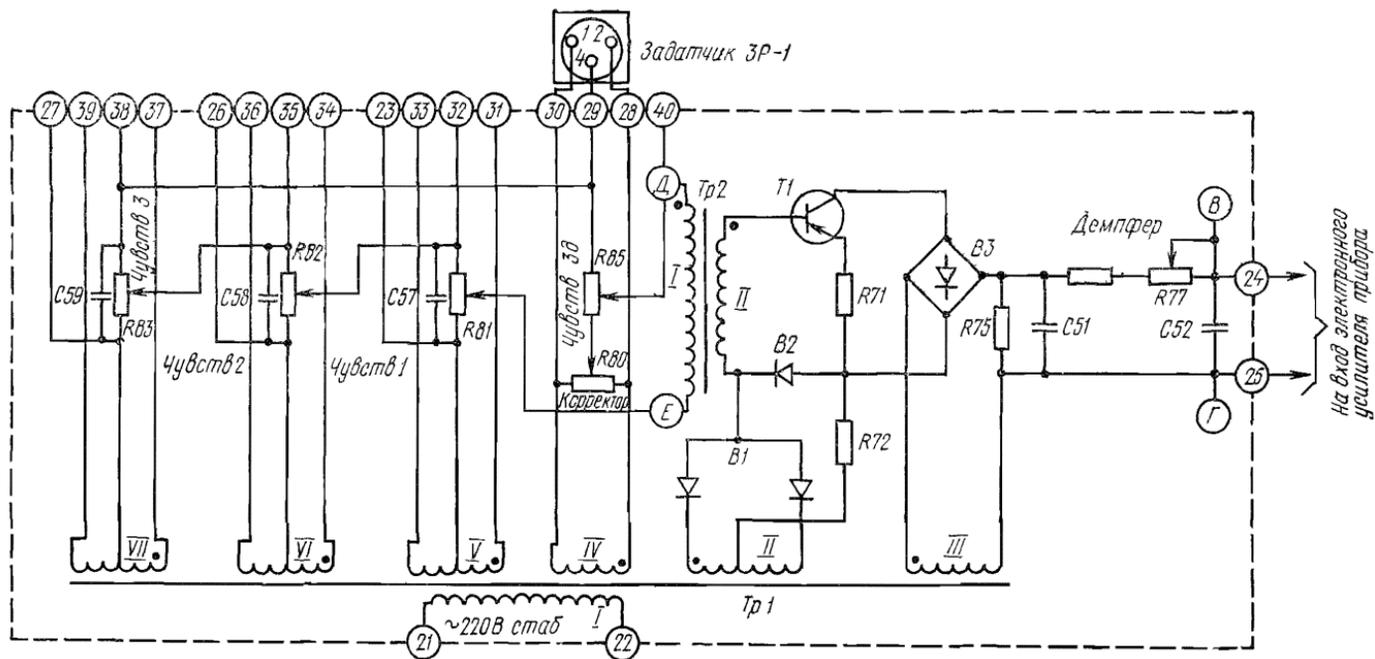


Рис. 94 Принципиальная электрическая схема измерительного блока И-III-62 регулятора РПИВ:
Tr1, Tr2 — трансформаторы, *B1, B2, B3* — выпрямители, *C51—C59* — конденсаторы, *R71—R85* — резисторы

Часть этого потенциала, определяемая положением движков, рукоятки которых выведены на лицевую панель прибора, суммируется и сравнивается с сигналом задатчика, питающегося от обмотки *IV* трансформатора *Tr1*. Если сумма сигналов преобразователей равна сигналу задатчика, в обмотке *I* трансформатора *Tr2* тока нет и на выходе измерительного блока потенциал равен нулю. Если сумма сигналов преобразователей и задатчика не равна нулю, то в зависимости от знака этой суммы в обмотке *I* трансформатора *Tr2* идет ток «от начала к концу» или «от конца к началу». Величина тока равна разности суммы токов и задатчика.

Усилитель измерительного блока собран на полупроводниковом триоде *T1*.

Ток управления, протекающий по цепи эмиттер — база, определяется напряжением обмотки *II* трансформатора *Tr1* и выпрямляется выпрямителем *B1*. Индуцированное во вторичной обмотке *II* трансформатора *Tr2* напряжение в зависимости от алгебраической суммы сигналов преобразователей и задатчика либо складывается с потенциалом обмотки *II* трансформатора *Tr1*, либо вычитается, что приводит к увеличению или уменьшению тока управления триода.

Силовой ток перехода эмиттер — коллектор возникает под действием напряжения обмотки *III* трансформатора *Tr1* и выпрямляется выпрямителем *B3*. Резистор *R75* включен в силовую цепь триода до выпрямления тока выпрямителем *B3*, поэтому на сопротивлении резистора *R75* в каждый полупериод создается падение напряжения со знаками разной полярности.

Если на обмотке *II* трансформатора *Tr2* сигнала нет, то на резисторе *R75* потенциалы двух разных полупериодов равны и конденсатор *C51* не накапливает заряд постоянного тока. Если на обмотке *II* трансформатора *Tr2* есть сигнал, то в зависимости от полярности этого сигнала в один из полупериодов падение напряжения на резисторе *R75* будет больше, чем в другом полупериоде. Это вызовет накопление потенциала определенной полярности на емкости *C51*, а следовательно, появление постоянного напряжения на выходных зажимах с плюсом на зажиме *24* или *25*.

Конденсаторы *C59*, *C58*, *C57* служат для уменьшения угла сдвига фаз между напряжением питания блока и сигнальным напряжением преобразователей.

Диод *B2* служит для создания напряжения смещения триода. *RC*-цепочка, состоящая из резистора *R77* и емкости *C52*, позволяет влиять на скорость изменения сигнала на выходных зажимах блока.

Структурная схема электронного блока представлена на рис. 95. Она состоит из входного лампового каскада *1*, собранного на двойном триоде 6Н1П-Е, представляющего собой балансный усилитель; модулятора *2*, состоящего из двух полупроводниковых триодов *T1* и *T2*; триггера *3*, собранного на транзисторах *T4* и *T3*, и выходного каскада *4*, собранного на триодах *T5* и *T6*. Входной и выходной каскад охвачены упругой обратной связью *б*, состоя-

щей из неоновой лампы *НЛ* и *RC*-цепочки *R9* и *C3*. Выходной каскад работает на нагрузку *5* (реле, катушки магнитного пускателя).

Электронная схема блока представлена на рис. 96.

Анодные цепи триода *Л* питаются от вторичных обмоток *III* и *II* трансформатора *Tr1*. Нагрузками обоих триодов лампы являются резисторы *R4* и *R5*, которые шунтированы конденсаторами

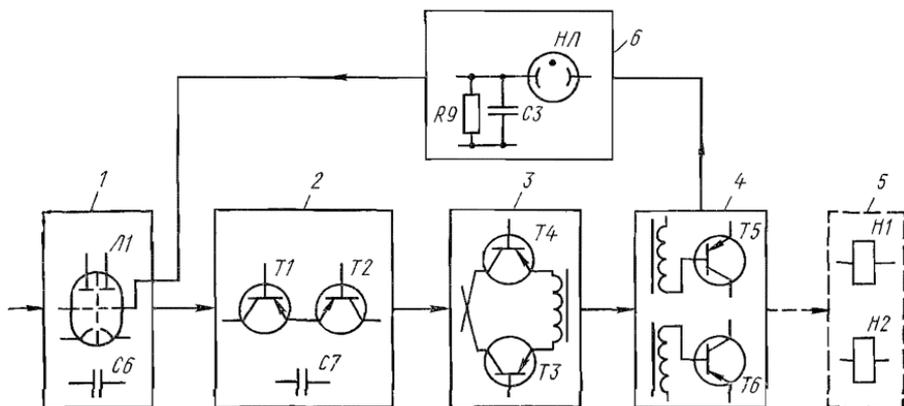


Рис. 95. Структурная схема электронного блока РПИ:

1 — входной каскад, 2 — модулятор, 3 — триггер, 4 — выходной каскад, 5 — нагрузка, 6 — обратная связь, *T1*—*T6* — триоды, *H1*, *H2* — нагрузка

C4 и *C5* для сглаживания пульсаций. Рабочие точки обоих триодов лампы задаются источником напряжения постоянного тока цепи катод — сетка, для чего напряжение на обмотке *IV Tr1* выпрямляется диодом *Д1*, фильтруется конденсатором *C2* и сопротивлением резистора *R2*.

Входной сигнал подается на зажимы *14*—*15*, соединенные с зажимами *24*—*25* измерительного блока (см. рис. 94).

Принципиальная упрощенная схема работы лампового каскада представлена на рис. 97.

Выходным сигналом каскада является напряжение на конденсаторе *C6*. Пусть на сетку левой половины лампы не поступает сигнал от измерительного блока, а на сетку правой половины лампы не поступает сигнал обратной связи. В этом случае каскад сбалансирован. Начальные анодные токи, проходя через резисторы *R4* и *R5*, создают равные значения падений напряжения, поэтому на обкладках конденсатора *C6* не будет разности потенциалов и он не будет заряжаться.

Пусть теперь напряжение сигнала на левой сетке будет больше, чем на правой. Тогда ток через резистор *R4* будет больше, чем через резистор *R5*. На сопротивлении *R4* будет больший потенциал, чем на *R5*, и конденсатор зарядится «плюсом» на правой обкладке.

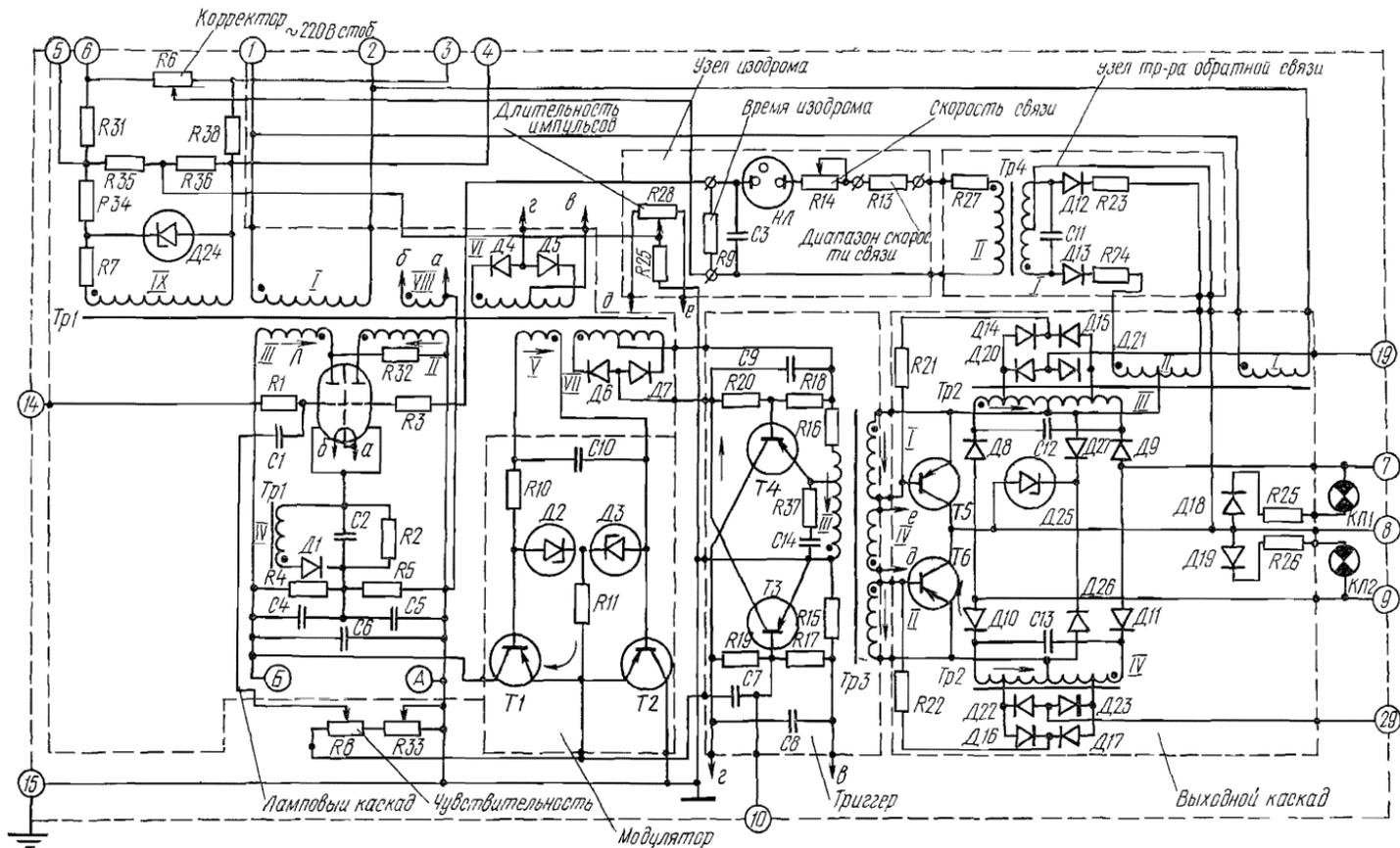


Рис 96 Принципиальная электрическая схема электронного блока РПИ регулятора РПИБ.

Л — электронная лампа, Т1—Т6 — транзисторы, Тр1—Тр4 — трансформаторы, Д2, Д3, Д24, Д25 — стабилитроны, Д1—Д27 — диоды, R1—R38 — резисторы, С1—С14 — конденсаторы, КЛ1—КЛ2 — сигнальные лампы, НЛ — неоновая лампа

Если на правой сетке сигнал будет больше, конденсатор $C6$ зарядится «плюсом» на левой по схеме обкладке.

На рис. 98 показана упрощенная схема модулятора.

Триоды модулятора $T1$ и $T2$ управляются током, возбуждаемым напряжением обмотки V сетевого трансформатора $Tr1$. В полупериод, когда эдс обмотки направлена «от конца к началу», ток проходит диод $D3$, переход эмиттер — база триода $T1$, замыкается на обмотку V . Триод $T1$ открывается. В обратный полупериод открывается триод $T2$.

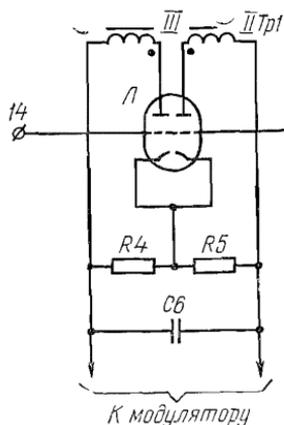


Рис. 97. Упрощенная схема входного каскада электронного блока РПИБ:

$Tr1$ — трансформатор, $Л$ — электронная лампа, $R4$, $R5$ — резисторы, $C6$ — конденсатор

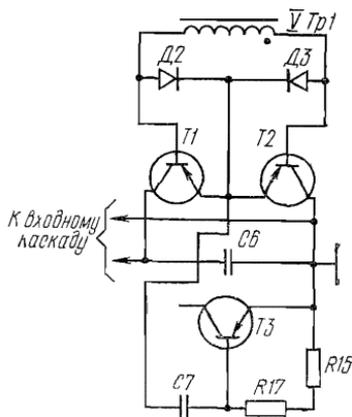


Рис 98. Упрощенная схема модулятора электронного блока РПИБ:

$Tr1$ — трансформатор, $D2$, $D3$ — диоды, $T1$, $T2$, $T3$ — транзисторы, $C6$, $C7$ — конденсаторы, $R15$, $R17$ — резисторы

Если конденсатор $C6$ был заряжен «плюсом» на левой обкладке, то он может разряжаться только через триод $T1$, т. е. в полупериод, когда эдс обмотки V $Tr1$ направлена «от конца к началу». Цепь разряда: конденсатор $C6$, переход коллектор — эмиттер $T1$. входной конденсатор триггера $C7$, резисторы $R17$ и $R15$, конденсатор $C6$.

Таким образом, в полупериод сетевого напряжения, действующего в обмотке $Tr1$ «от конца к началу», если конденсатор $C6$ был заряжен с плюсовой полярностью на левой по схеме обкладке, конденсатор $C7$ заряжается, а триод $T3$ закрывается положительным потенциалом, приложенным к базе.

Если конденсатор $C6$ заряжен «плюсом» на правой по схеме обкладке, цепь его разряда возможна также только через триод $T1$, т. е. в тот же полупериод «от конца к началу» во вторичных обмотках сетевых трансформаторов.

В этом случае цепь разряда: конденсатор $C6$, переход эмиттер — база триггерного триода $T3$, конденсатор $C7$, переход эмиттер — коллектор триода модулятора $T1$, конденсатор $C6$. При такой полярности конденсатора $C6$ в полупериод «от конца к началу» конденсатор $C7$ тоже заряжается, а триод $T3$ открывается (табл. 10). Следовательно, заряд конденсатора $C7$ происходит только в один полупериод сетевого напряжения.

Таблица 10. Состояние элементов модулятора и триггера

$C6$	Вторичные обмотки сетевых трансформаторов		$T1$	$T2$	Цель разряда $C6$	Цель разряда $C7$
	Конец	Начало				
	←		Закр	Откр	Нет	Есть $T3$ Откр
		→	Откр	Закр		Нет $T3$ Закр
		→	Откр	Закр		Нет $T3$ Откр
	←		Закр	Откр	Нет	Есть $T3$ Закр

В процессе заряда конденсатора $C7$ в зависимости от полярности конденсатора $C6$ триод $T3$ открывается или, наоборот, запирается. Триод открывается, когда конденсатор $C7$ заряжается «плюсом» на правой по схеме обкладке. Так как триод $T3$ является входным триодом триггера, триггер опрокидывается каждый полупериод, но опрокидывание триггера с открытием триода $T3$ происходит в разные полупериоды сетевого напряжения в зависимости от полярности заряда $C6$.

Разряд конденсатора $C7$ возможен только через триод модулятора $T2$, т. е. в полупериод «от начала к концу». Если «плюс» на левой по схеме обкладке конденсатора $C7$, триод $T3$ при разряде конденсатора открывается, если на правой — запирается. Ток разряда конденсатора (см. рис. 96) проходит модулятор и приводит в действие триггер.

Триггер служит для преобразования входного сигнала в скачкообразный сигнал на выходе, т. е. создания переменного тока в обмотке III трансформатора $T3$. Питание триодов триггера осуществляется от обмоток VI и VII трансформатора $Tr1$ и выпрямителей, собранных на диодах $D4$, $D5$ и $D6$, $D7$. Выпрямители заряжают конденсаторы $C8$ и $C9$, которые являются источниками питания цепей управления триодов триггера.

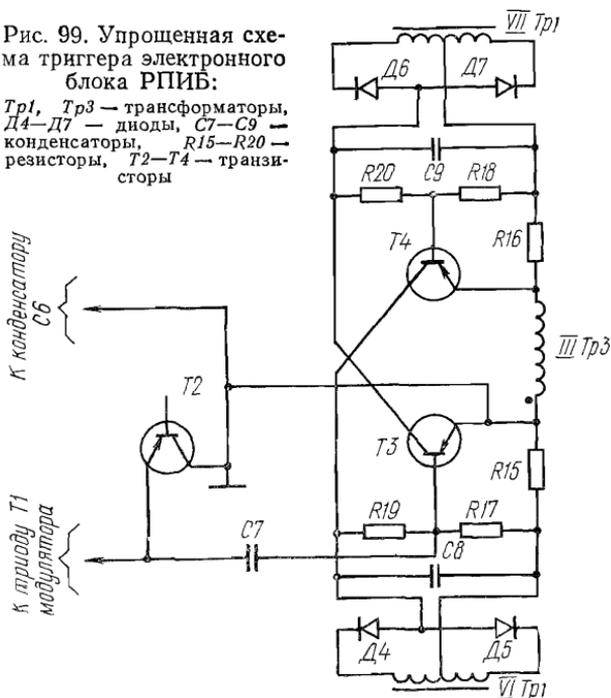
Конденсатор $C8$ питает цепь управления триода $T3$: плюс $C8$, резистор $R15$, переход эмиттер — база триода $T3$, резистор $R19$, минус $C8$. Кроме того, конденсатор $C8$ питает силовую цепь триода $T4$: плюс $C8$, резистор $R15$, обмотка III трансформатора $Tr3$, переход эмиттер — коллектор транзистора $T4$, минус $C8$.

Конденсатор $C9$ питает цепь управления транзистора $T4$, по цепи: $C9$, резистор $R16$, переход эмиттер — база транзистора $T4$, резистор $R20$, минус конденсатора $C9$, и силовую цепь транзистора $T3$: плюс $C9$, резистор $R16$, обмотка III трансформатора $Tr3$, переход эмиттер — коллектор транзистора $T3$, минус конденсатора $C9$.

Следовательно, при опрокидывании триггера дважды за период сетевого напряжения меняется направление тока в обмотке III

Рис. 99. Упрощенная схема триггера электронного блока РПИБ:

$Tr1, Tr3$ — трансформаторы, $D4-D7$ — диоды, $C7-C9$ — конденсаторы, $R15-R20$ — резисторы, $T2-T4$ — транзисторы



трансформатора $Tr3$. Направление тока в этой обмотке в один и тот же по отсчету полупериод сетевого напряжения зависит от полярности конденсатора $C7$.

На рис. 99 показана упрощенная схема триггера.

Триггер имеет два устойчивых состояния, когда открыт триод $T4$ или триод $T3$. Опрокидывание триггера происходит под действием сигнала, поступающего с конденсатора $C7$. Если конденсатор $C7$ заряжен «плюсом» на левой по схеме обкладке, он разряжается через триод $T2$ модулятора (в полупериод, когда он открыт) и цепь управления триода $T3$. Триод $T3$ открывается, опрокидывая триггер. От конденсатора $C9$ через резистор $R16$, обмотку III трансформатора $Tr3$ и коллекторную цепь $T3$ проходит ток.

Одновременно ток, проходящий по делителю $R18, R20$, на сопротивлении $R20$ создает падение напряжения, запирающее триод

триггера $T4$. В этот полупериод ток в обмотке III трансформатора $Tr3$ идет «от конца к началу».

В следующий полупериод триод модулятора $T2$ закрыт и открыт триод $T1$, через который конденсатор $C7$ (см. рис. 96) заряжается. Ток заряда конденсатора, проходя по сопротивлению $R17$, запирает триод $T3$. В этот полупериод открывается триод $T4$ и ток в обмотке III трансформатора $Tr3$ от конденсатора $C8$ идет «от начала к концу».

Если конденсатор $C7$ был заряжен «плюсом» на правой по схеме обкладке, то в полупериод, когда открыт триод $T2$, конден-

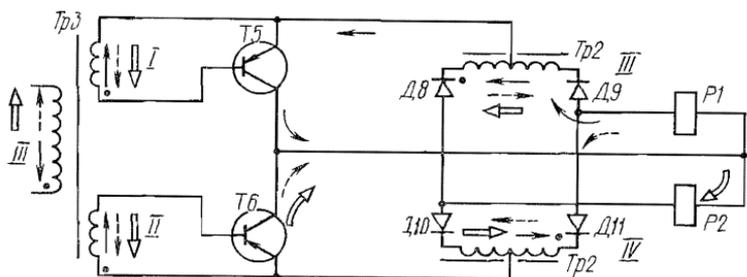


Рис. 100. Упрощенная схема выходного каскада усилителя:
 $Tr2$, $Tr3$ — трансформаторы, $T5$, $T6$ — транзисторы, $D8$ — $D11$ — диоды,
 $P1$, $P2$ — реле

сатор, разряжаясь, по цепи: резистор $R17$, $R15$, $T2$ запирает триод $T3$. Это приводит к тому, что в этот полупериод триггер опрокидывается, открывается триод $T4$, и ток в обмотке III трансформатора $Tr3$ идет «от начала к концу».

В следующий полупериод, когда триод $T2$ закрыт, конденсатор $C7$, заряжаясь от конденсатора $C6$ через цепь управления триода $T3$, опрокидывает триггер. Триод $T3$ открывается и ток силовой цепи триода проходит по обмотке III трансформатора $Tr3$ «от конца к началу».

На рис. 100 приведена принципиальная упрощенная схема выходного каскада усилителя.

Ток управления триодами $T5$ и $T6$ возбуждается вторичными обмотками I и II трансформатора $Tr3$. Питание реле или катушек реверсивного магнитного пускателя осуществляется от катушек IV и III сетевого трансформатора $Tr2$ через двухполупериодный выпрямитель $D8$ ÷ $D11$.

Рассмотрим работу схемы.

Пусть эдс вторичных обмоток III и IV $Tr2$ направлена «от конца к началу», а напряжение первичной обмотки $Tr3$ действует также «от конца к началу», эдс вторичных обмоток $Tr3$ будет действовать «от начала к концу». Выбранный режим на схеме указан сплошными стрелками. Эдс обмоток I и II трансформатора $Tr3$ открывает триод $T5$, а триод $T6$ закрывает. Ток от средней точки

обмотки *III* трансформатора *Tr2* проходит триод *T5* и попадает в нагрузку — реле *P1*, откуда замыкается через диод *D9* на обмотку *III* трансформатора *Tr2*. В следующий полупериод, когда полярность сетевого напряжения изменится, изменится и полярность напряжения на зажимах входного трансформатора *Tr3* (указано пунктирными стрелками). Это приведет к открытию триода *T6* и закрытию триода *T5*. От средней точки обмотки *IV* трансформатора *Tr2* ток проходит триод *T6* и попадает в нагрузку — реле *P1*, откуда через диод *D11* замыкается на обмотку *IV* трансформатора *Tr2*. Таким образом, в оба полупериода сетевого напряжения под током находится реле *P1*.

Пусть теперь в первый полупериод сетевого напряжения, когда эдс вторичных обмоток *Tr2* направлена «от конца к началу», входной сигнал в обмотке *III* трансформатора *Tr3* направлен в другую сторону — «от начала к концу» (показано двойными стрелками). Тогда эдс вторичных обмоток *I* и *II* трансформатора *Tr3* будет действовать «от конца к началу». Триод *T5* будет закрыт, а триод *T6* открыт. Ток со средней точки обмотки *IV* трансформатора *Tr2* пройдет триод *T6*, нагрузку — реле *P2* и через диод *D10* замкнется на обмотку *IV* трансформатора *Tr2*.

Следовательно, с изменением полярности входного сигнала каскада меняется направление тока в нагрузке, что приведет к изменению направления перемещения исполнительного механизма.

В выходном каскаде (см. рис. 96) диоды *D8* — *D11* образуют выпрямитель, с которого питается нагрузка. Диоды *D14* — *D17* и резисторы *R21*, *R22* служат для создания смещения на выходных триодах. Конденсаторы *C12* и *C13* шунтируют паразитные токи высокой частоты в обмотках трансформаторов. Между выходными зажимами подключены сигнальные лампы *КЛ1* и *КЛ2*, показывающие направление команды усилителя.

Блок обратной связи усилителя состоит из узла обратной связи и узла изодрома. Узел обратной связи собран на трансформаторе *Tr4*, выпрямителях *D12* и *D13*, резисторах *R23* и *R24*. Питается узел от обмотки *II* трансформатора *Tr2*. Узел изодрома состоит из неоновой лампы *НЛ*, *RC*-цепочки *R9*, *C3* и ряда переменных и постоянных резисторов, позволяющих производить настройку параметров обратной связи.

На рис. 101 показана упрощенная схема работы узла обратной связи электронного регулятора.

Так как лампа *Л* входного каскада пропускает ток только в один полупериод, когда на анодах лампы «плюс», то сигнал обратной связи также должен действовать в этот же полупериод.

Выходной каскад усилителя нагружен на первичную обмотку *I* трансформатора *Tr4*. На эту же обмотку работает обмотка *II* трансформатора *Tr2*, создавая запирающий потенциал на диодах *D12*, *D13*.

Транзистор *T5* может быть открыт в любую половину периода сетевого напряжения в зависимости от полярности заряда конденсатора *C6* (см. рис. 96) во входном каскаде. Если *T5* открыт в по-

лупериод «от конца к началу» в обмотке *II* сетевого трансформатора *Tr2*, диод *D13* окажется запертым, а диод *D12* будет открыт и ток со средней точки обмотки *II* трансформатора *Tr2*, пройдя транзистор *T5* и диод *D12*, будет идти в обмотке *I* трансформатора *Tr4* «от начала к концу». Если *T5* открыт в полупериод «от начала к концу» в обмотке *II* сетевого трансформатора *Tr2*, ток в обмотке *I* трансформатора *Tr4* будет идти «от конца к началу».

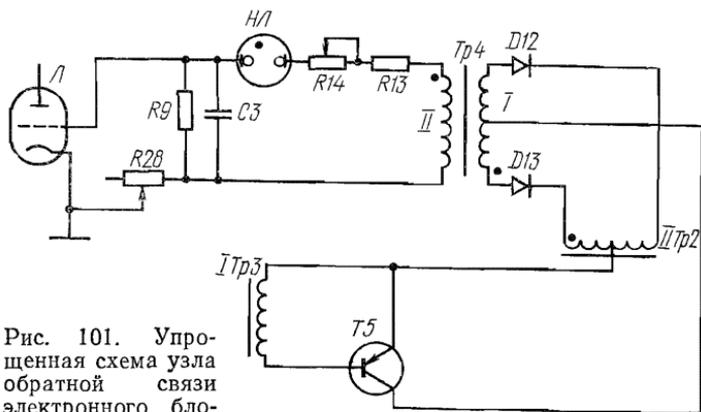


Рис. 101. Упрощенная схема узла обратной связи электронного блока РПИБ:

L — электронная лампа, *HL* — неоновая лампа, *Tr2* — *Tr4* — трансформаторы, *T5* — транзистор, *D12*, *D13* — диоды, *R9*, *R13*, *R14*, *R28* — резисторы, *C3* — конденсатор

Во вторичной обмотке трансформатора *Tr4* индуцируется переменное напряжение. Однако, пока триод *T5* открыт, величина этого напряжения недостаточна, чтобы зажечь неоновую лампу *HL*, и поэтому конденсатор *C3* не заряжается.

В момент опрокидывания триггера триод *T5* выходного каскада запирается, и ток в первичной обмотке трансформатора *Tr4* прекращается. Процесс мгновенного спадания магнитного потока, охватывающего вторичную обмотку трансформатора *Tr4*, вызывает в ней импульс повышенного напряжения, под действием которого межэлектродное пространство неоновой лампы *HL* пробивается и лампа загорается.

Когда лампа загорается и пропускает ток, заряжается конденсатор *C3*. Каждый полупериод, когда триод *T5* закрывается, происходит зарядка конденсатора. Следовательно, чем дольше действует команда выходного каскада, тем больше заряжается конденсатор *C3*. Разряжается конденсатор на резистор *R9*. Если переключений триггера нет и выходной каскад не работает, конденсатор *C3* разряжается. Таким образом, уровень заряда конденсатора зависит от времени включения исполнительного механизма, а уровень разряда конденсатора — от величины пауз между командами.

Разряжаться конденсатор $C3$ может только через резистор $R9$, так как его напряжения не хватает для того, чтобы зажечь лампу $НЛ$.

С изменением полупериода опрокидывания триггера и закрытия триода $T5$ меняется полярность заряда конденсатора $C3$. Напряжение конденсатора $C3$ поступает на сетку правой половины лампы $Л$. Это напряжение и напряжение сигнала ошибки всегда совпадают по знаку. Поэтому по мере заряда конденсатора $C3$ напряжение на выходе лампы (конденсатор $C6$, см. рис. 96) и, следовательно, всего блока исчезает.

Подбирая сопротивление резистора $R9$, можно менять время разряда конденсатора $C3$ или время изодрома.

Таким образом, во вторичных обмотках I и II трансформатора $Tr3$ фаза эдс либо совпадает с фазой напряжения вторичных обмоток III и IV сетевого трансформатора $Tr2$, либо противоположна ей.

На рис. 102 показаны идеализированные графики работы обратной связи регулятора. На горизонтальной оси отложено время процесса регулирования, на положительной вертикальной оси — напряжение на обкладках конденсатора или напряжение обратной связи, на отрицательной вертикальной оси — напряжение сигнала, действующего на левую сетку лампы $Л$.

Процесс заряда и разряда конденсатора происходит по экспонентным кривым. Крутой фронт кривой заряда конденсатора показывает, что напряжение на конденсаторе быстро растет в начале заряда от нуля. Чем больше заряжается конденсатор, тем медленнее он набирает дополнительную энергию. У полностью заряженного конденсатора в начале процесса разряда напряжение на обкладках быстро падает, а по мере снижения напряжения на обкладках конденсатора процесс разряда замедляется.

Разберем два случая работы регулятора: когда возмущение в системе регулирования велико и когда отклонение регулируемого параметра не намного превышает допустимую норму.

Пусть на левую сетку лампы приходит сигнал с напряжением U_{c1} (см. рис. 102). В момент времени t_1 , когда разность падений напряжения на нагрузке лампы — резисторах R_4 и R_5 (см. рис. 96) ΔU_p станет больше зоны нечувствительности регулятора, усилитель начнет работать и на выходных зажимах появится напряжение ко-

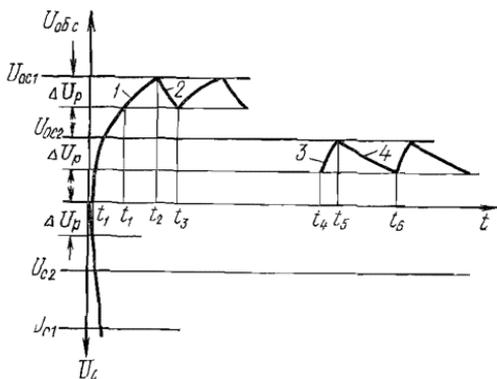


Рис 102. График работы гибкой обратной связи RC цепочки регулятора РПИБ:

1, 3 — процесс заряда конденсатора, 2, 4 — процесс разряда конденсатора

манды. В это время начнет заряжаться конденсатор $C3$ (кривая 1). В момент времени t_2 напряжение U_{oc1} на обкладках конденсатора $C3$ станет равным напряжению сигнала U_{c1} — регулятор прекратит свою работу и команда на выходных зажимах исчезает. Конденсатор $C3$ начнет разряжаться (кривая 2). В момент t_3 разница напряжений на сетках лампы L превысит зону нечувствительности регулятора ΔU_p , регулятор снова включится и конденсатор снова начнет заряжаться.

В процессе регулирования контролируемой величины она будет приближаться к номинальному (заданному) значению.

Рассмотрим второй вариант, когда величина отклонения параметра от заданного значения невелика. Пусть в этом случае напряжение сигнала U_{c2} . В момент t_4 включился выходной каскад регулятора и конденсатор $C3$ начал заряжаться (кривая 3). В момент t_5 напряжение обратной связи U_{oc2} стало равным напряжению сигнала U_{c2} и команда на выходе регулятора исчезла. Конденсатор $C3$ стал разряжаться (кривая 4). В момент t_6 разница напряжений между потенциалом сигнала и потенциалом обратной связи превысит зону нечувствительности и регулятор снова включится.

Из графика видно, что благодаря экспонентному характеру кривой, время включения регулятора ($t_2 - t_1$) больше, чем такое же время при малом отклонении параметра ($t_5 - t_4$). Время отключения регулятора ($t_3 - t_2$), наоборот, меньше времени ($t_6 - t_5$). Это потому, что при большой величине сигнала заряд конденсатора происходит при менее крутом фронте, а разряд при более крутом фронте экспонентной кривой

$$\frac{t_3 - t_2}{t_2 - t_1} < \frac{t_6 - t_5}{t_5 - t_4}.$$

Таким образом, чем больше отклонение параметра от заданного значения, тем больше время включения регулятора и меньше время пауз. По мере приближения параметра к заданному значению в процессе регулирования время подачи команды сокращается, а время пауз увеличивается.

Следовательно, гибкая обратная связь на RC -цепочке создаст пропорционально-интегральную характеристику регулятора.

Как указывалось выше, при параллельной работе нескольких котлов в силу различной инерционности агрегатов их нагрузка может быть неравномерной. В этом случае для корректирования работы индивидуальных регуляторов применяется главный регулятор.

Московским заводом тепловой автоматики разработаны и выпускаются электронные корректирующие приборы КПИ, которые состоят из измерительного и электронного блоков. Измерительные блоки прибора КПИ и регулятора РПИБ унифицированы. Поэтому для прибора КПИ применяются такие же измерительные блоки, что и для регулятора РПИБ. Электронный блок один для всех модификаций прибора КПИ.

В зависимости от выбора измерительного блока различаются типы приборов КПИ. Так, приборы КПИ-III применяются в каскадных схемах регулирования уровня, давления, разряджения, расхода или соотношения любых двух указанных величин. КПИ-Т2 применяются в каскадных схемах авторегулирования температуры любых сред при условии ее измерения с помощью термоэлектрического термометра с коррекцией по параметру, измеряемому первичными приборами с дифференциально-трансформаторными или индукционными преобразователями, либо в каскадных схемах регулирования параметра, измеряемого первичными приборами с дифференциально-трансформаторными или индукционными преобразователями с коррекцией по температуре, измеряемой термоэлектрическим термометром.

Принципиальная электрическая схема электронного блока представлена на рис. 103.

Схема состоит из двух каскадов усиления, каскада усилителя напряжения — лампа *Л1* и каскада усилителя мощности — лампа *Л2*. Кроме того, в схему включены узел обратной связи, собранный на *РС*-цепочке *Р9*, *С3*, и ограничитель на диодах *В5* и *В6*. Входной сигнал с измерительного блока прибора КПИ (см. рис. 94) подается на зажимы *14* и *15*. Выходной сигнал коррекции снимается с одного из шести выходов — зажимы *3—4*; *5—6*; *7—8*; *9—10*; *17—18* и *19—20*. Выходной сигнал подается на измерительный блок (см. рис. 94) индивидуального регулятора РПИБ на зажимы *39—38* или *26—35*; *23—32*. Таким образом, сигнал корректирующего прибора принимается индивидуальным регулятором РПИБ как сигнал преобразователя. Напряжение, вырабатываемое прибором КПИ, суммируется в измерительном блоке индивидуального регулятора с напряжением основного преобразователя, по которому ведется регулирование процесса.

Аноды лампы *Л1* (см. рис. 103) питаются переменным током от трансформатора *Тр1*. На левую (по схеме) сетку лампы через фильтр, состоящий из резистора *Р1* и емкости *С1*, подается сигнал постоянного тока от измерительного блока. На правую сетку лампы подается сигнал обратной связи.

Первый каскад электронного усилителя является балансным (выходное напряжение равно нулю при отсутствии входных сигналов) и фазочувствительным (знак выходного напряжения зависит от полярности входного). При нарушении баланса каскада в зависимости от полярности сигнала, приходящего на левую управляющую сетку лампы, или в зависимости от соотношения величины управляющего сигнала и сигнала обратной связи конденсатор *С7* будет заряжаться с плюсовым потенциалом на левой или правой обкладке. Выходные зажимы конденсатора *А* и *Б* соединены с управляющими сетками второго каскада усилителя — лампой *Л2*.

Аноды лампы *Л2* питаются от обмотки *IV* трансформатора *Тр2*. Если на сетках лампы сигналов нет, то обе половины лампы имеют одинаковую проводимость. Поэтому в обеих половинах нагрузочной обмотки *I* трансформатора *Тр3* токи одинаковы и направлены

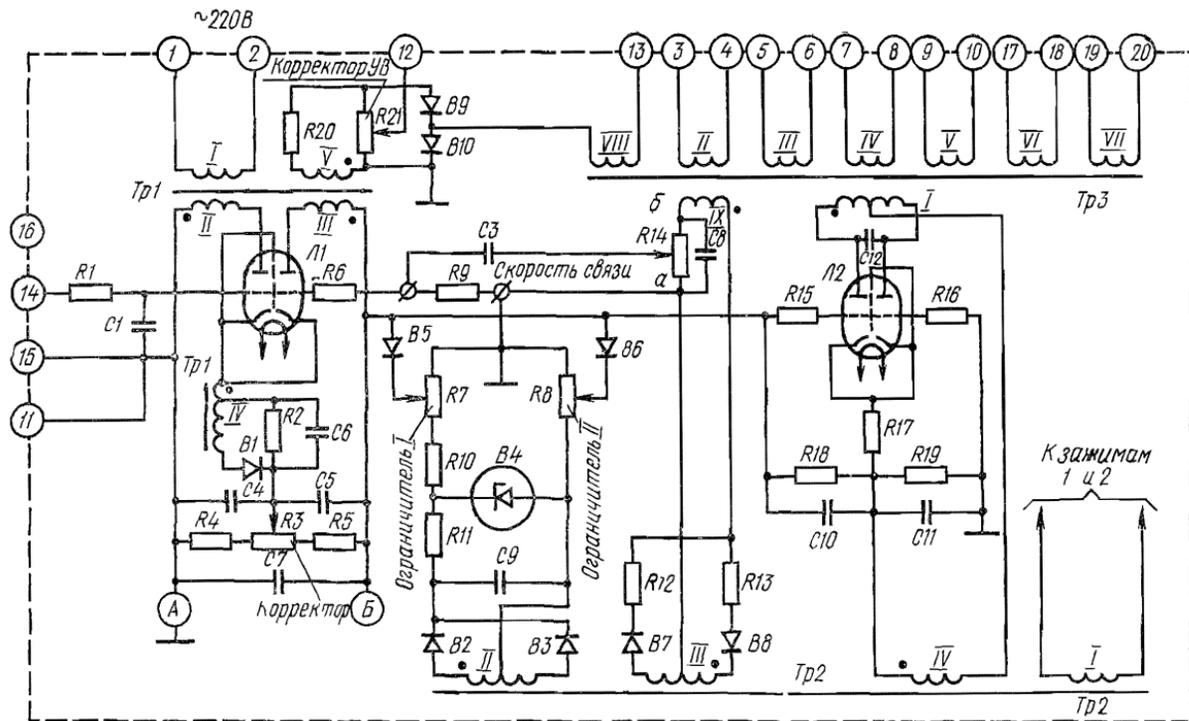


Рис. 103 Принципиальная электрическая схема электронного блока корректирующего прибора КПИ-62
 Л1, Л2 — электронные лампы, Tr1—Tr3 — трансформаторы, R1—R21 — резисторы, B4 — стабилитрон, B1—B10 — диоды,
 C1—C12 — конденсаторы

навстречу друг другу. В результате во вторичных обмотках трансформатора *Тр3* напряжения нет. Если благодаря наличию сигнала на одной из сеток лампы *Л2* один из двух триодов будет пропускать больший ток, чем другой, в обмотке *I* трансформатора *Тр3* возникает ток небаланса. В результате на выходных зажимах прибора появится напряжение, фаза и величина которого зависят от того, на какую сетку лампы *Л2* и какой величины был подан сигнал.

Рассмотрим, как формируется сигнал обратной связи прибора.

Обмотка *IX* трансформатора *Тр3* подсоединена к обмотке *III* трансформатора *Тр2* таким образом, что токи в ней, возникающие под действием напряжения обеих половин обмотки *III* трансформатора *Тр2*, равны и направлены навстречу друг другу. В полупериод, когда напряжение в обмотке *III* трансформатора *Тр2* направлено «от начала к концу», цепь тока будет: средняя точка обмотки *III* трансформатора *Тр2*, точка *a* резистора *R14*, резистор *R14*, обмотка *IX* трансформатора *Тр3* «от конца к началу», резистор *R13*, диод *B8*, начало обмотки *III* трансформатора *Тр2*; вторая цепь тока: конец обмотки *III* трансформатора *Тр2*, диод *B7*, резистор *R12*, обмотка *IX* трансформатора *Тр3* «от начала к концу», точка *b* резистора *R14*, резистор *R14*, средняя точка обмотки *III* трансформатора *Тр2*.

Таким образом, в резисторе *R14* токи направлены навстречу друг другу, поэтому напряжение на конденсаторе *C3* равно нулю.

Если на вход прибора поступил сигнал, то в выходных обмотках, в том числе и в обмотке *IX* трансформатора, появится эдс определенного знака. Под действием этой эдс один из диодов *B7* или *B8* будет заперт, поэтому ток в резисторе *R14* будет только одного направления и потенциал, снимаемый движком резистора, будет одного знака. Конденсатор *C3* начнет заряжаться. Разряд конденсатора происходит на резистор *R9*. В зависимости от величины и полярности заряда конденсатора на правой сетке лампы *Л1* появляется сигнал отрицательной гибкой обратной связи той или иной полярности.

Ограничитель, включенный в схему прибора, предназначен для ограничения выходного напряжения электронного регулирующего прибора. Действие ограничителя основано на шунтировании выхода первого каскада малым сопротивлением при превышении выходным напряжением заданного значения. Для этого на выходе команды предусмотрены два диода *B5* и *B6*. На диоды подается запирающее напряжение, которое снимается с потенциометров *R7* и *R8*, питаемых от специального выпрямителя *B2* и *B3*. До тех пор, пока выходное напряжение каскада меньше запирающего, каскад нагружен большими обратными сопротивлениями диодов и работает практически в режиме холостого хода. При превышении сигналом запирающего напряжения один из диодов открывается и шунтирует нагрузку каскада.

В этом случае первый каскад нагружен небольшим сопротивлением, равным сумме прямого сопротивления диода и доле потен-

циометра R7 или R8 между движком и «землей», и работает в режиме, близком к короткому замыканию. Выходное напряжение каскада практически остается равным запирающему напряжению. Изменение уровня ограничения достигается путем регулирования величины запирающего напряжения, подаваемого на диоды B5 и B6.

Схема ограничителя позволяет отдельно и независимо регулировать уровень выходного напряжения при различных полярностях выходного напряжения первого каскада. Опорный диод B4 предназначен для стабилизации напряжения на нагрузке; одновременно он обеспечивает необходимую степень фильтрации.

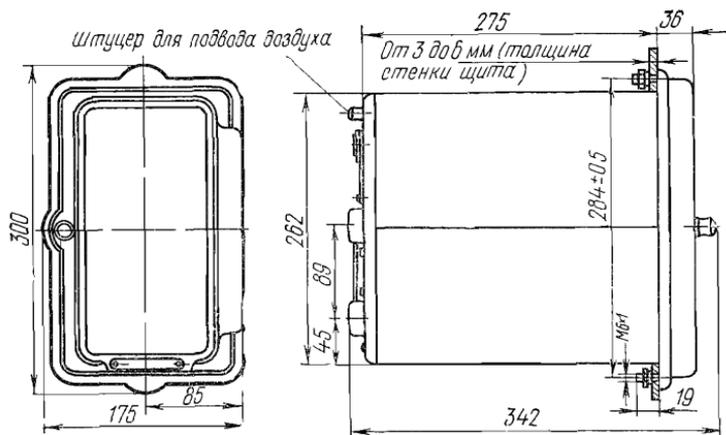


Рис. 104. Общий вид электронных регулирующих приборов МЗТА

На зажимах 12 — 13 прибора может быть подключен указатель выхода, которым служит специальный микроамперметр постоянного тока со шкалой 100-0-100 мкА. Отклонение стрелки указателя выхода от нулевого положения пропорционально величине выходного напряжения прибора, причем направление этого отклонения зависит от фазы выходного напряжения.

Устройство, которое является источником питания для указателя выхода, представляет собой однополупериодный фазочувствительный выпрямитель, собранный на диодах B9 и B10.

Схема выпрямителя позволяет получить на измерительном приборе, подключенном к зажимам 12 — 13, постоянный ток, направление которого зависит от фазы сигнала на выходе прибора.

Диоды выпрямителя B9 и B10 открыты только в тот полупериод, когда направление тока в обмотке V трансформатора Tr1 «от начала к концу». В этот полупериод в зависимости от фазы напряжения в обмотке VIII трансформатора Tr3 в приборе идет выпрямленный однополупериодный ток в ту или другую сторону.

На рис. 104 показан общий вид электронных регулирующих и корректирующих приборов завода МЗТА. Измерительный и элект-

ронный блоки заключены в стальной корпус, снабженный застекленной крышкой и замком с уплотнением против попадания пыли. Электронный блок расположен над измерительным. В целях устранения возможности попадания пыли внутрь корпуса прибора на его задней стенке установлен штуцер для подвода сжатого воздуха.

Корпус прибора рассчитан на утопленный монтаж на вертикальной плоскости. Как правило, приборы устанавливаются на щитах управления двустороннего обслуживания.

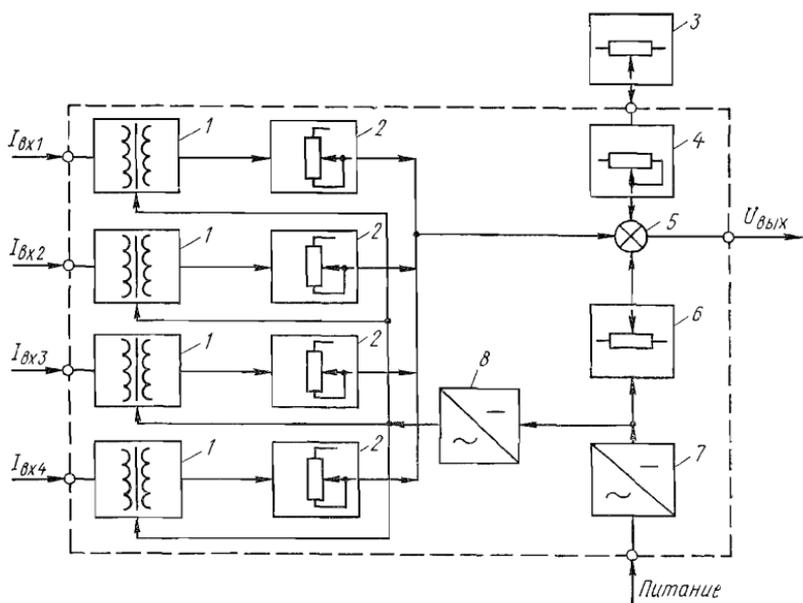


Рис. 105. Структурная схема измерительного блока ИО4:

1 — преобразователи, 2, 4 — узлы масштабирования, 3 — задающее устройство, 5 — узел сравнения, 6 — корректор, 7 — источник питания, 8 — генератор

Регулирующая аппаратура системы «Каскад» рассчитана на входные сигналы постоянного тока 0...5 мА и 0...20 мА. В состав системы входят блоки измерительный, суммирования, умножения, деления, извлечения квадратного корня, ограничения, регулирующей линейный, регулирующей аналоговый, дифференцирования, тиристорный усилитель, ряд блоков управления, защиты, индикации и задающие устройства.

Измерительный блок ИО4 предназначен для приема до четырех сигналов постоянного тока и гальванической развязки входного сигнала с целью исключения влияния дальнейшего усиления и обработки сигнала на систему, выдающую входную информацию.

Выходной сигнал рассогласования формируется в виде напряжения постоянного тока и рассчитан на подачу в релейные или аналоговые регулирующие блоки или в блоки дифференцирования и другие функциональные и логические блоки.

На рис. 105 представлена структурная схема измерительного блока.

Преобразователи 1 служат для преобразования сигнала постоянного тока в переменный, для гальванической развязки с помощью трансформатора и преобразования переменного тока в постоянный.

Узлы масштабирования 2 позволяют отобрать нужную долю сигнала с соответствующего канала.

Задающее устройство 3 выполняет роль задатчика, выдающего сигнал, с которым сравнивается сумма входных сигналов первичных преобразователей.

Работа узла масштабирования задатчика аналогична работе, выполняемой узлами масштабирования 2 основных сигналов.

В узле компенсации 5 происходит алгебраическое сложение сигналов первичных преобразователей и задатчика. Сигнал рассогласования с тем или иным знаком подается на выход измерительного блока. Корректором 6 можно установить в измерительном блоке заданное значение регулируемого параметра в диапазоне от 0 до 100%.

Источник питания 7, представляющий собой трансформатор с выпрямителем, преобразует переменный ток сети питания в постоянный, а генератор 8 — постоянный ток в импульсы переменного тока частотой около 10 кГц. Последний обеспечивает работу преобразователей 1.

Релейный регулирующий блок Р21 предназначен для применения в составе автоматических регуляторов производственных процессов, использующих информацию в виде унифицированных токовых сигналов 0...5 мА и 0...20 мА.

Входные сигналы вводятся в регулирующий блок непосредственно (без масштабирования и гальванической изоляции) либо через измерительный блок ИО4.

В процессе работы релейный регулирующий блок формирует импульсы электрического напряжения, управляющие через пусковое устройство исполнительным механизмом, совместно с которым обеспечивается пропорционально-интегральный (ПИ) закон регулирования в пульсирующем режиме.

Структурная схема блока Р21 показана на рис. 106. Входные сигналы постоянного тока 0...5 мА; 0...20 мА, 0...2,5 В суммируются на входе демпфирующего устройства 1. Выходной сигнал демпфирующего устройства вместе с сигналом постоянного тока 0...5 мА и 0...±24 В, а также с сигналами обратных связей, формирующих закон регулирования, поступает на вход высокоомного двухполярного усилителя постоянного тока 6 (УВ-41). Выходной сигнал усилителя УВ-41 управляет трехпозиционным релейным магнитно-тиристорным усилителем 5 (УР-2), который коммутирует пусковое устройство исполнительного механизма регулятора. Усилители УВ-41 и УР-2 питаются от модуля источника питания 7 (ИП-15), который подключен к сети.

Зона нечувствительности блока регулируется путем изменения

коэффициента передачи звена 2 в цепи отрицательной обратной связи усилителя УВ-41.

Закон регулирования формируется цепью главной отрицательной обратной связи 3, которая выполнена в виде нелинейного инерционного звена. Помимо главной отрицательной обратной связи 3 прямой канал блока охвачен дополнительной обратной связью 4, выполненной в виде инерционного звена, которое влияет на длительность отдельных включений в пульсирующем режиме.

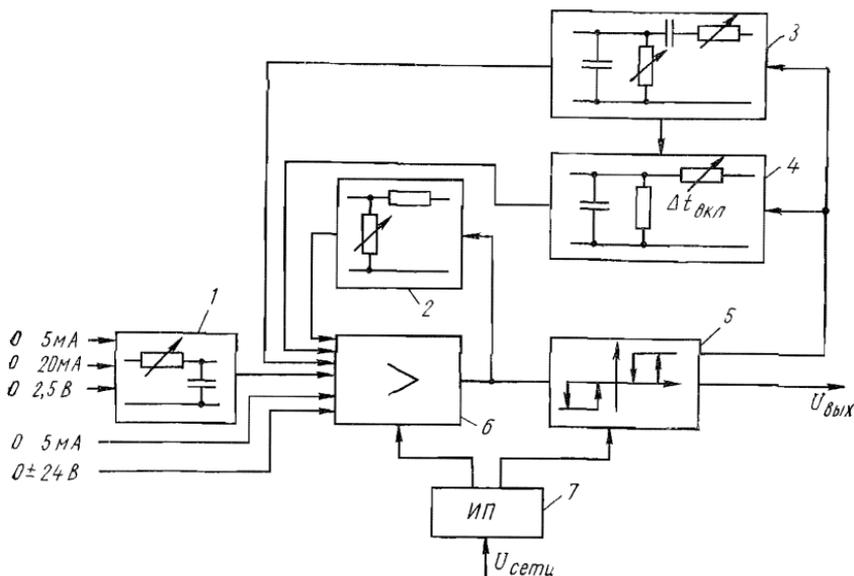


Рис. 106. Структурная схема блока Р-21;

1 — демпфирующее устройство, 2 — звено регулирования зоны нечувствительности, 3 — цепь главной обратной связи, 4 — цепь дополнительной обратной связи, 5 — трехпозиционный релейный магнитно-тиристорный усилитель УР 2, 6 — усилитель постоянного тока УВ 41, 7 — источник питания

С такими же функциональными возможностями как система «Каскад» Ивано-Франковским приборостроительным заводом начат выпуск аналогового комплекса электрических средств регулирования. Аналоговый комплекс электрических средств регулирования ГСП на базе микроэлектроники АКЭСР включает различные регулирующие и функциональные устройства, предназначенные для приема информационных унифицированных аналоговых сигналов от преобразователей технологических параметров, взаимозаменяемых дифференциально-трансформаторных преобразователей, термоэлектрических термометров и термометров сопротивления.

Комплекс АКЭСР способен обрабатывать, хранить информацию и вырабатывать командные сигналы. Выходные командные сигналы регуляторов могут представлять собой бесконтактный

ключ с коммутационной способностью 50 В 1 А; 127 В 0,1 А; или аналоговый сигнал 0—10 В; 0—5 мА; 0—20 мА; 4—20 мА.

На базе устройств АКЭСР путем агрегатирования могут быть построены разнообразные системы регулирования и управления технологическими процессами, начиная от простейших позиционных регуляторов и отдельно действующих контуров регулирования до самых сложных, включая автоматические системы управления с применением электронно-вычислительных машин.

Все блоки АКЭСР выполняются в двух конструктивных исполнениях — приборном и шкафном.

В номенклатуру АКЭСР входят функциональные устройства, регулирующие устройства, устройства ввода и вывода информации, задатчики и блоки ручного управления.

Габаритные размеры блоков 80×160×537 мм, масса около 6 кг.

§ 47. Регулирующие приборы РП2

Для работы с преобразователями ГСП переменного и постоянного тока Чебоксарским конструкторским бюро СКБСПА разработаны регуляторы серии РП2.

Регулирующие приборы РП2-П2, РП2-С2, РП2-Т2, РП2-У2 являются релейными бесконтактными регулирующими приборами с импульсным управлением исполнительным устройством. Приборы выполнены на полупроводниковых элементах и позволяют формировать ПИ, ПИД законы регулирования. ПИ закон регулирования формируется с помощью действующей внутри прибора отрицательной обратной связи. Гибкая обратная связь осуществляется с помощью *РС*-цепочки.

ПИД закон регулирования формируется регулятором при работе его с дифференциатором, выполненным в виде отдельного блока. Выходной командой регулятора является сигнал постоянного тока напряжением 24 В на активном сопротивлении нагрузки 80 Ом. Мощность выходных импульсов 7,2 Вт.

Регулирующий прибор состоит из двух блоков: электронного и измерительного. Электронный блок является общим для всех модификаций прибора. В нем производится преобразование входного сигнала постоянного тока в сигнал переменного тока, усиление и выработка сигнала обратной связи.

Измерительный блок И-П2, входящий в состав прибора РП2-П2 (новая модель РП2-П3), имеет четыре входа, на которые в любой последовательности могут быть подключены преобразователи систем переменного тока дифференциально-трансформаторной и ферродинамической систем. Причем одновременно могут быть подключены преобразователи той и другой системы. На один из входов измерительного блока И-П2 может быть подан сигнал от индуктивного или реостатного преобразователя.

Измерительный блок И-С2 прибора РП2-С2 рассчитан на подключение термометров сопротивления и служит для сравнения сигналов термометров сопротивления с сигналом задания. В блоке

производится усиление и преобразование сигналов в напряжение постоянного тока с целью дальнейшей подачи на вход электронного блока. Измерительный блок И-С2 может принимать также сигналы постоянного тока 0 — 5 мА.

Измерительный блок И-Т2, входящий в прибор РП2-Т2, служит для сравнения сигнала термоэлектрического термометра с сигналом задания. В блоке производится усиление и преобразование сигналов в напряжение постоянного тока. Кроме того, блок имеет вход постоянного тока 0 — 5 мА.

Четвертой модификацией является регулирующий прибор РП2-У2. Измерительный блок И-У2 этого прибора служит для алгебраического суммирования в нужной пропорции четырех унифицированных сигналов постоянного тока, сравнения их с сигналом задатчика, усиления и преобразования результирующего сигнала в напряжение постоянного тока и подачи его на входе электронного блока.

Принципиальная электрическая схема измерительного блока И-У2 показана на рис. 107.

Функции сравнивающего устройства и усилителя выполняет магнитный усилитель, работающий в режиме глубокого насыщения. Усилитель выполнен на четырех магнитных сердечниках, набранных из полос пермаллоя. Обмотки $H7—K7$, $H6—K6$, $H5—K5$ и $H4—K4$ являются управляющими, принимающими сигналы преобразователей. По обмотке $H3—K3$ протекает ток, зависящий от величины параметров задатчика. Изменяя положение рукоятки задатчика, можно менять ток в этой обмотке.

$H_1^2—K_1^2$ и $H_2^2—K_2^2$ являются обмотками смещения усилителя. Ток в обмотке смещения сдвигает характеристику магнитного усилителя вдоль оси абсцисс. Таким образом, ток смещения как бы заранее задает определенный ток управления. Обмотка $H8—K8$ является обмоткой отрицательной обратной связи.

Рабочими обмотками усилителя являются обмотки $K_1^1—H_1^1$; $H_1^2—K_1^2$; $H_1^3—K_1^3$ и $K_1^4—H_1^4$. От величины индуктивного сопротивления этих обмоток зависит величина выходного сигнала. Питание постоянным током цепей задатчика и обмотки смещения осуществляется от обмотки 3—4 трансформатора Tr и выпрямителя $D3$. Конденсатор $C1$ сглаживает пульсации выпрямленного тока.

При установившемся значении регулируемой величины алгебраическая сумма магнитных потоков обмоток управления такова, что сопротивлению выходной обмотки усилителя $K_1^1—H_1^1$ равно сопротивлению обмотки $H_1^3—K_1^3$, а сопротивление обмотки $H_1^2—K_1^2$ равно сопротивлению обмотки $K_1^4—H_1^4$.

Под действием напряжения, создаваемого обмоткой 5—6—7 трансформатора Tr , в обмотках усилителя возникнут токи, замыкающиеся по соответствующим цепям.

При фазе напряжения с плюсом на зажиме 5 и минусом на зажиме 7 обмотки трансформатора ток пойдет через диоды $D4$ и $D6$, обмотку $K_1^1—H_1^1$ и $H_1^3—K_1^3$, резисторы $R11$ и $R12$ и замкнет-

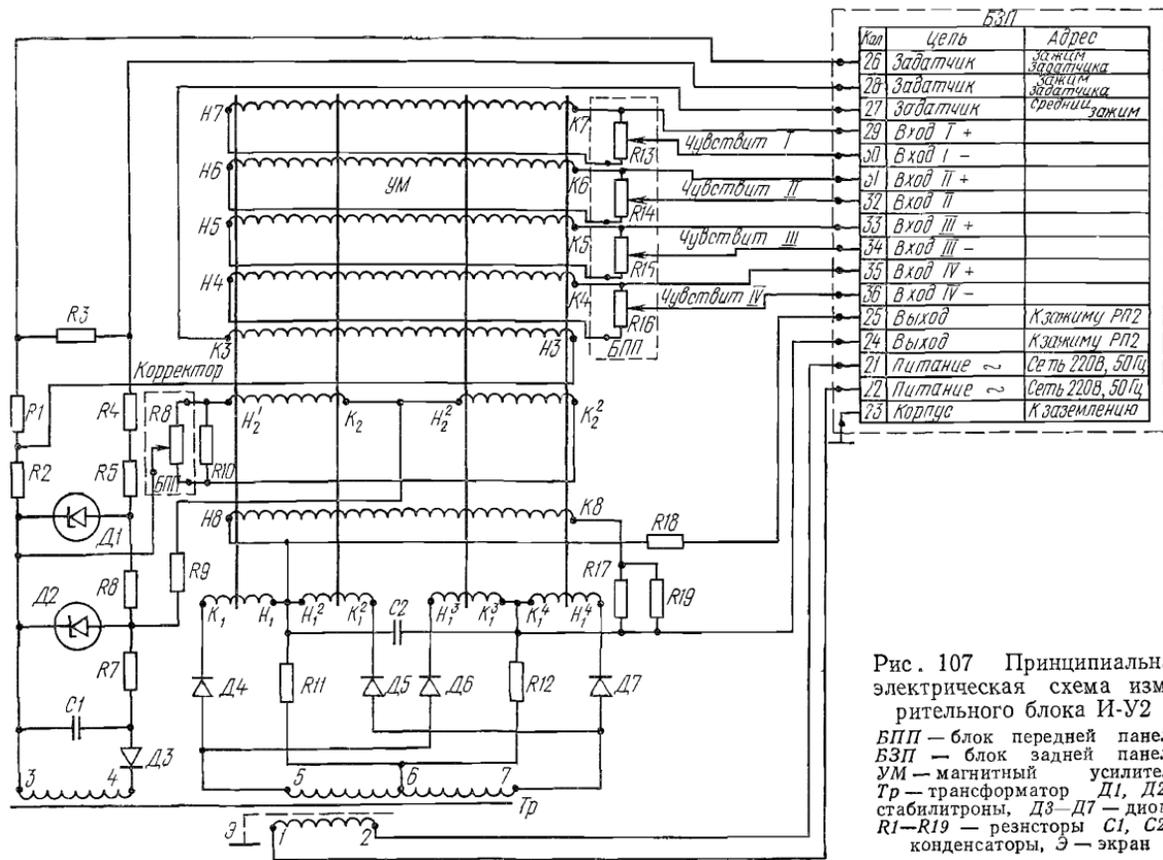


Рис. 107 Принципиальная электрическая схема измерительного блока И-У2

БПП — блок передней панели, БЗП — блок задней панели, УМ — магнитный усилитель, Тр — трансформатор Д1, Д2 — стабилизаторы, Д3—Д7 — диоды, R1—R19 — резисторы C1, C2 — конденсаторы, Э — экран

ся на среднюю точку трансформатора. При обратном направлении тока он пройдет от зажима 7 трансформатора через диоды $D7$ и $D5$, обмотки $H_1^4—K_1^4$ и $K_1^2—H_1^2$, резисторы $R12$ и $R11$ и замкнется на среднюю точку трансформатора.

Так как сопротивление рабочих обмоток одинаково, величина напряжения на обеих обкладках разделительного конденсатора $C2$ будет тоже одинакова, поэтому конденсатор не заряжается. Следовательно, на зажимах «Выход» 25—24 напряжения нет.

Если сигналы преобразователей изменяются, то баланс магнитных потоков в сердечниках усилителя будет нарушен. Пусть это изменение привело к тому, что сопротивление левой по схеме рабочей обмотки стало меньше сопротивления правой обмотки. Тогда ток через резистор $R11$ будет больше тока через резистор $R12$. Под действием разности падений напряжения на резисторах на зажимах «Выход» 24—25 возникает сигнал с плюсом на зажиме 25. Если токи преобразователей изменятся так, что снизится сопротивление правой по схеме обмотки, напряжение на выходных зажимах появится с плюсом на зажиме 24.

Величина выходного напряжения зависит от соотношения магнитных потоков, а следовательно, от величины токов преобразователей, проходящих по обмоткам управления. Магнитный поток управления изменяет индуктивное сопротивление дросселя $K_1^1—H_1^4$, так как несмотря на то, что каждая из рабочих обмоток питается через свой диод выпрямленным током одного полупериода, в целом вся обмотка охвачена переменным потоком полного периода.

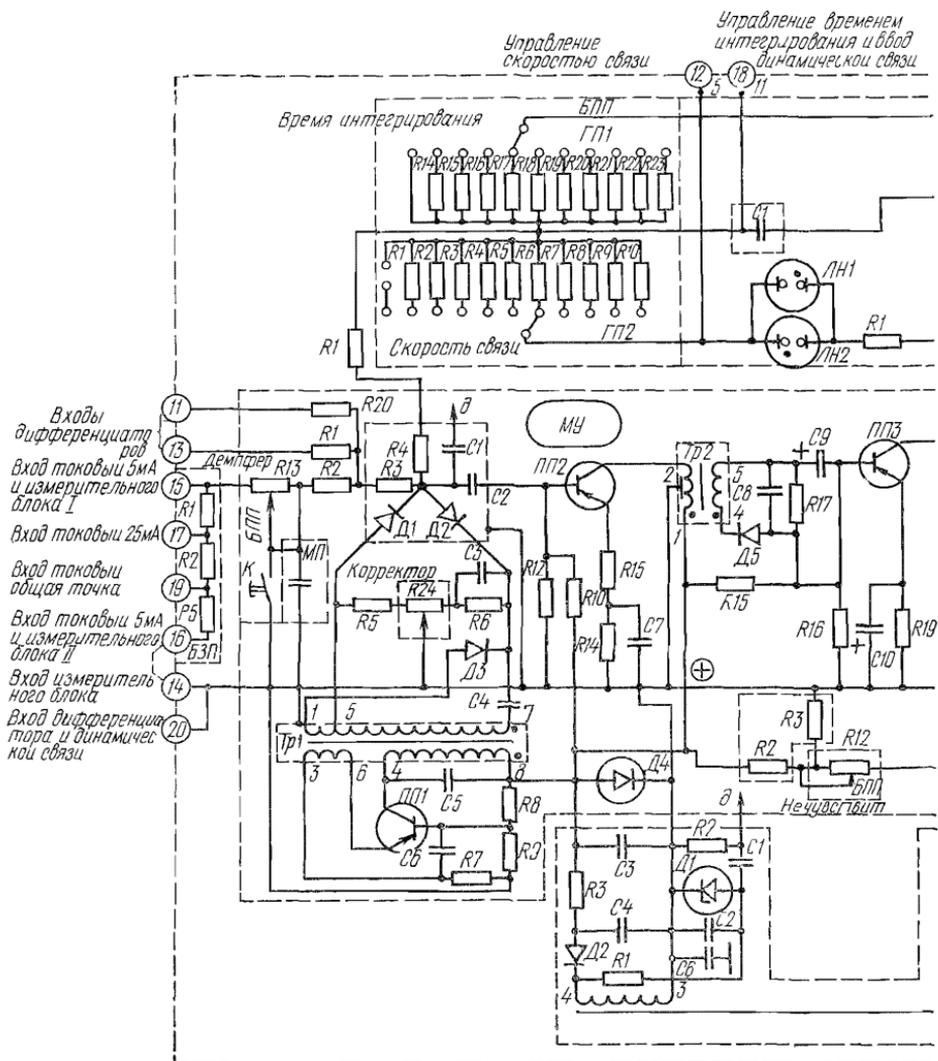
Сигнал с зажимов 25—24 подается на вход электронного блока регулирующего прибора. Направление и величина тока в обмотке обратной связи $H8—K8$ также меняется в зависимости от разности падений напряжения на балластных сопротивлениях $R11$, $R12$.

Кремниевые стабилитроны $D1$ и $D2$ и резисторы $R6$ и $R7$ обеспечивают стабилизацию тока задания. Резисторы $R1$ и $R2$ служат для установки нужного тока задания. Изменение диапазона действия реостатного задатчика осуществляется сопротивлением $R3$. Резисторы $R4$, $R5$ служат для тепловой стабилизации тока нагрузки диода $D1$. Резистор $R10$ служит для изменения диапазона действия корректора. Ручки управления резисторами $R13$, $R14$, $R15$, $R16$, «Чувствительность I»—«Чувствительность IV» выведены на переднюю панель прибора и позволяют изменять долю сигнала с того или иного преобразователя.

Электронный блок прибора РП-2 (рис. 108), кроме того что входит составной частью в регулятор, может выпускаться в отдельном кожухе и быть самостоятельным прибором. Поэтому в блоке предусмотрены возможности подключения различных входных устройств.

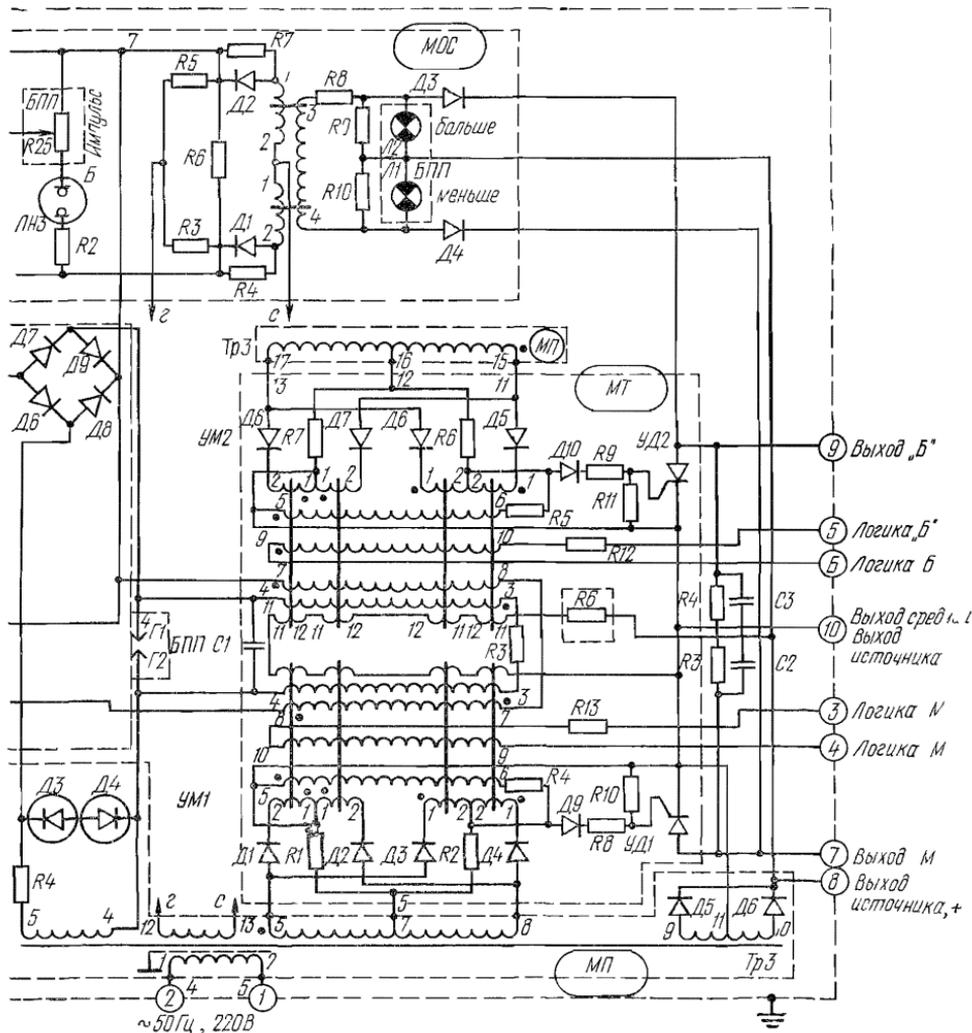
Электронный блок прибора имеет два входа унифицированного сигнала постоянного тока 0—5 мА, один вход сигнала постоянного напряжения и два высокоомных входа для подключения дифференциаторов, с помощью которых осуществляется ПИД закон регулирования.

Электронный блок РП 2 имеет входы для подключения блока динамической связи, блока подстройки динамических параметров и для ввода логических команд при работе с электронно-вычислительной машиной. Блок состоит из следующих узлов модуля усилителя с высокоомным входным сопротивлением, модуля триггера с тремя устойчивыми состояниями; модуля обратной связи и модуля питания



Назначение модуля усилителя — принимать сигналы постоянного тока, преобразовывать их в переменный ток, усиливать сигнал, детектировать сигнал с фиксацией его по фазе, преобразовывать в постоянный ток и подавать на вход модуля триггера.

В зависимости от полярности и величины сигнала постоянного тока модуль триггера может иметь три устойчивых состояния: команда на включение исполнительного механизма в одну сторону, команда на включение исполнительного механизма в другую сторону и отсутствие команды.



электронного усилителя РП 2

МП — блок модуля питания, МТ — блок модуля триггера, МОС — блок модуля обратной лампы
 ЛН1 ЛН2 — гнезда контроля нуля К — кнопка контроля балансировки блока,
 транзисторы, R1—R23 — резисторы ЛН1—ЛН3 — неоновые лампы

Модуль питания обеспечивает модули усилителя, триггера и обратной связи.

Модуль обратной связи представляет собой инерционное звено, временные параметры которого зависят от емкости конденсатора и сопротивления резисторов, включенных в схему обратной связи. При появлении сигнала на выходе электронного блока включается в работу модуль обратной связи. При включении обратной связи происходит заряд конденсатора. Напряжение с конденсатора подается на вход усилителя таким образом, чтобы компенсировать сигнал, подаваемый на вход прибора. При достижении разности сигналов (входного и обратной связи) величины, меньшей чувствительности регулятора, команда на выходе регулятора исчезает. Цепь заряда конденсатора модуля обратной связи отключается и начинается разряд конденсатора. Если исполнительный механизм не восстановил регулируемую величину до заданного значения, после разряда конденсатора на входе прибора опять появится сигнал постоянного тока и цикл повторится. Цепи разряда и заряда конденсатора взаимно развязаны и имеют отдельно регулируемые параметры.

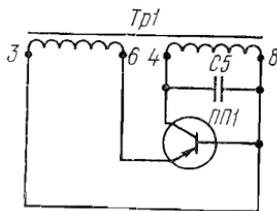


Рис. 109 Упрощенная схема работы генератора высокой частоты МУ регулятора РП-2

3—6 *Тр1* — обмотка управления генератора 4—8 *Тр1* — нагрузочная обмотка *ПП1* — транзистор *С5* — конденсатор

Зажимы 11, 13, 15, 17, 19, 16, 14 и 20 являются входным устройством электронного блока. На зажимы 15 и 14 подается сигнал постоянного тока от измерительного блока.

Резисторы *R1*, *R2*, *R5* БЗП (блока задней панели) образуют делитель, позволяющий подключать различные комбинации входных сигналов. В модуле усилителя применен принцип модуляции высокой частотой. На транзисторе *ПП1* собран генератор высокой частоты.

Упрощенная схема генератора представлена на рис. 109. Схема генератора — трансформаторная с индуктивной связью между коллекторной и эмиттерной цепями. Резонансный контур, образованный индуктивностью трансформаторной обмотки 4—8 трансформатора *Тр1* и конденсатором *С5*, настроен на частоту 500 000 Гц. При возникновении колебаний в контуре они трансформируются на обмотку 3—6 трансформатора *Тр1* и усиливаются транзистором *ПП1*. В результате усиления напряжение на обмотке 4—8 возрастает, что приводит к увеличению напряжения на обмотке 3—6, а следовательно, тока в цепи управления транзистором. Увеличение напряжения на обмотке 4—8 прекратится при насыщении, т. е. при полном открытии триода. Уменьшение тока в обмотке 4—8 приводит к уменьшению тока управления триода и вызывает лавинообразный процесс закрытия триода *ПП1*. После полного закрытия цикл нарастания напряжения повторяется. Процесс повторяется с частотой 500 кГц. Ко вторичной обмотке трансформатора

Упрощенная схема генератора представлена на рис. 109. Схема генератора — трансформаторная с индуктивной связью между коллекторной и эмиттерной цепями. Резонансный контур, образованный индуктивностью трансформаторной обмотки 4—8 трансформатора *Тр1* и конденсатором *С5*, настроен на частоту 500 000 Гц.

При возникновении колебаний в контуре они трансформируются на обмотку 3—6 трансформатора *Тр1* и усиливаются транзистором *ПП1*. В результате усиления напряжение на обмотке 4—8 возрастает, что приводит к увеличению напряжения на обмотке 3—6, а следовательно, тока в цепи управления транзистором. Увеличение напряжения на обмотке 4—8 прекратится при насыщении, т. е. при полном открытии триода. Уменьшение тока в обмотке 4—8 приводит к уменьшению тока управления триода и вызывает лавинообразный процесс закрытия триода *ПП1*. После полного закрытия цикл нарастания напряжения повторяется. Процесс повторяется с частотой 500 кГц. Ко вторичной обмотке трансформатора

Tr1 (см рис 108) подключен нелинейный мост, состоящий из диодов *Д1*, *Д2* и резисторов *R5*, *R6* и *R24*.

Переменный резистор *R24* служит для балансировки моста. Выпрямитель, образованный диодом *Д3* и сглаживающим конденсатором *С4*, создает напряжение постоянного тока, которое запирает диоды *Д2* и *Д1*. Так как входной сигнал подается к вершинам моста, то запертые диоды создают большое входное сопротивление прибора.

Упрощенная схема работы узла нелинейного моста представлена на рис. 110.

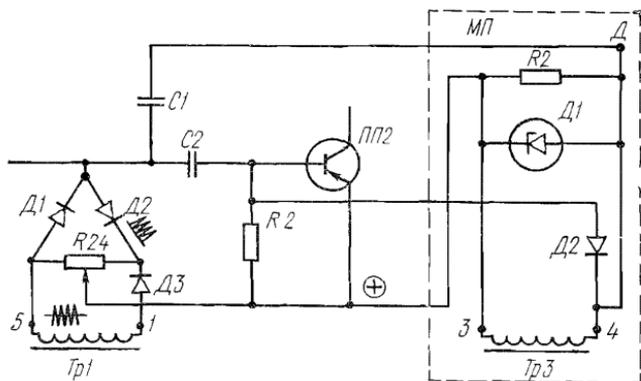


Рис. 110 Упрощенная схема работы узла нелинейного моста МУ

5—1 *Tr1* — выходная обмотка трансформатора генератора высокой частоты *Д1—Д3* — диоды *R2*, *R12*, *R24* — резисторы, 3—4 *Tr3* — вторичная обмотка трансформатора модуля питания, *C1*, *C2* — конденсаторы *ПП2* — транзистор

От модуля питания (с конца 3 обмотки 4—3 трансформатора *Tr3*) к конденсатору *C1* модуля усилителя подаются однополупериодные импульсы переменного тока промышленной частоты

Вершина синусоидальных импульсов срезается стабилитроном *Д1* модуля питания, который «пробивается» выше определенного напряжения. Поэтому на шину «плюс» попадают практически однополупериодные прямоугольные импульсы, следующие с частотой 50 Гц

Обмотка 4—3 *Tr3* модуля питания создает напряжение постоянного тока, питающее транзисторы усилителя. Детектирование осуществляется диодом *Д2* модуля питания.

На рис. 111, а показаны импульсы, формирующиеся блоком питания.

Напряжение прямоугольных импульсов больше напряжения постоянного тока, запирающего диоды *Д1* и *Д2* нелинейного моста. Поэтому с шины «плюс» (см. рис. 110) импульсы проходят резистор *R24*, диод *Д1* нелинейного моста, конденсатор *C1*, точку *Д* и замыкаются на конец 4 трансформатора *Tr3*.

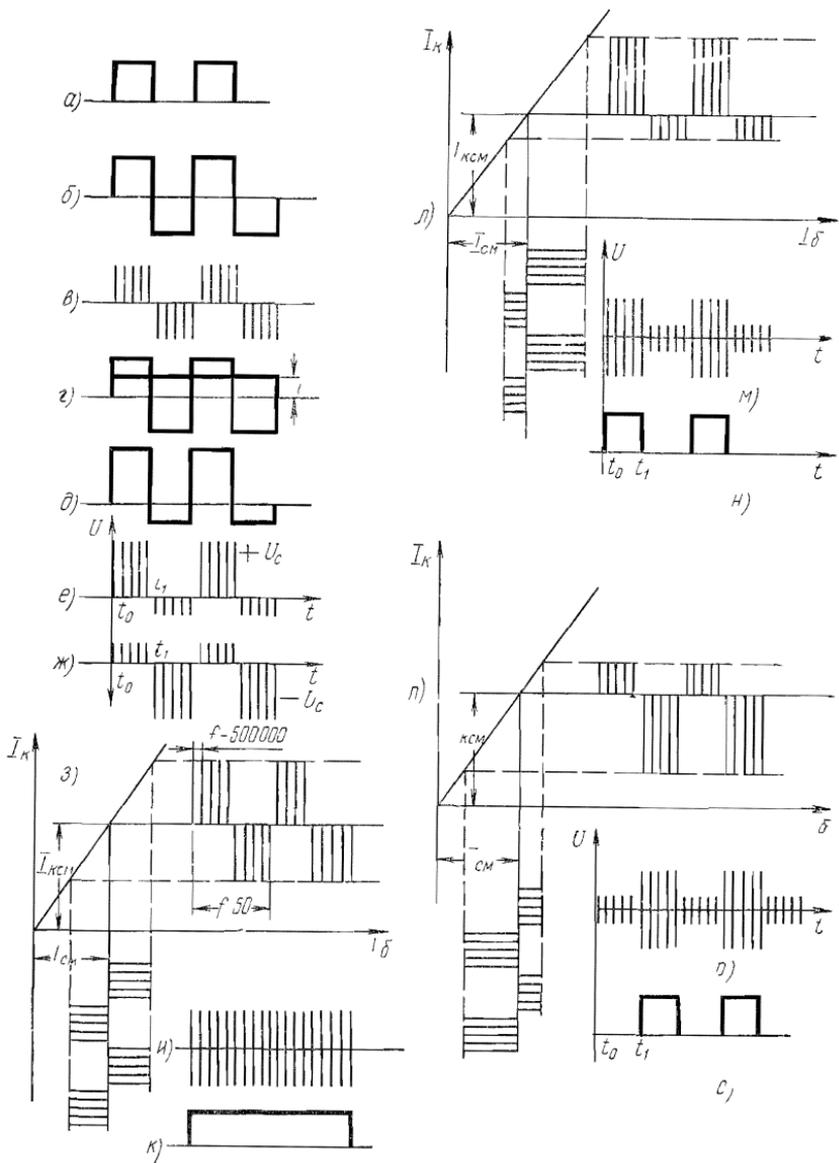


Рис 111. Графики формирования сигналов в узлах электронного блока РР-2:
 а — импульсы, поступающие на конденсатор $C1$ модуля усилителя, б — напряженне в вершине моста между диодами $D1$ и $D2$, в — прямоугольные импульсы, модулированные высокочастотным сигналом, г — наложение входного сигнала, д — результат суммирования прямоугольных импульсов с входным сигналом, е — модулирование суммарного сигнала прямой полярности, ж — модулирование суммарного сигнала обратной полярности, з — процесс усиления на транзисторе $ПП2$ при отсутствии входного сигнала, и — напряжение на вторичной обмотке трансформатора $Тр2$ при отсутствии входного сигнала, к — напряжение на конденсаторе $C9$ модуля усилителя при отсутствии входного сигнала, л и п — процесс усиления на транзисторе $ПП2$ при наличии на выходе сигнала прямой и обратной полярности, м и р — напряжение на вторичной обмотке трансформатора $Тр2$ при наличии сигнала прямой и обратной полярности, н и с — напряжение на конденсаторе $C9$ и базе транзистора $ПП3$ при наличии сигнала прямой и обратной полярности

В момент прохождения импульса конденсатор $C1$ заряжается до полного напряжения импульса с плюсом на нижней по схеме обкладке.

В следующий полупериод, когда эдс $Tr3$ направлена от конца 3 к концу 4 , стабилитрон $D1$ шунтирует обмотку трансформатора. Конденсатор $C1$ разряжается через диод $D2$, резистор $R24$, резистор $R2$ на верхнюю по схеме обкладку.

Таким образом, в вершине моста между диодами $D1$ и $D2$ формируется двухполупериодное напряжение, график которого изображен на рис. 111, б.

В моменты открытия диодов через них проходит сигнал высокой частоты, вырабатываемый узлом генератора модуля усилителя.

Когда открыт диод $D2$, сигнал проходит от конца 1 обмотки трансформатора $Tr1$ через диод $D3$, диод $D2$, конденсатор $C2$, резистор $R12$, шина «плюс», резистор $R24$, конец 5 обмотки $Tr1$. В этот полупериод на резисторе $R12$ создается потенциал, приложенный плюсом к базе триода $ПП2$ с частотой 500 кГц.

Когда открыт диод $D1$, сигнал с конца 1 обмотки трансформатора $Tr1$ проходит диод $D3$, резистор $R24$, шина «плюс», резистор $R12$, конденсатор $C2$, диод $D1$, конец 5 трансформатора. В этот полупериод на резисторе $R12$ создается падение напряжения, модулированное частотой 500 кГц, минус которого приложен к базе триода $ПП2$.

На рис. 111, в показано условно высокочастотное напряжение, приложенное к базе триода $ПП2$, а на рис. 111, з — процесс усиления транзистором на переходной характеристике триода. На вертикальной оси отложен ток коллектора триода, а на горизонтальной — ток управления базы. Наклонная прямая является идеализированной кривой усиления транзистора.

Режим транзистора $ПП2$ с помощью резисторов $R14$, $R15$, $R10$ (см. рис. 108) подобран таким образом, чтобы через триод все время протекал начальный постоянный ток управления, называемый током смещения $I_{см}$. Ток смещения вызывает постоянный коллекторный ток $I_{ксм}$.

Сигнал промышленной частоты прямоугольного напряжения, модулированный частотой 500 кГц, откладывается на вертикальной оси, соответствующей току смещения, тогда на горизонтальной оси характеристики транзистора мы получим усиленный транзистором сигнал в цепи коллектора. Полученный сигнал состоит из постоянной составляющей и импульсов 500 кГц, модулирующих 50-герцовую составляющую.

В нагрузочной цепи триода $ПП2$ (см. рис. 109) включен трансформатор $Tr2$. Так как трансформатор пропускает только переменную составляющую, на вторичной обмотке $5-4$ возникает напряжение с частотой модуляции 500 кГц.

На рис. 111, и условно изображен график этого напряжения. Усиленный сигнал детектируется амплитудным детектором $D5$, $R17$, $C8$.

График выпрямленного напряжения на выходе детектора показан на рис. 111, *к*. Разделительный конденсатор *С9* не пропускает постоянный ток, поэтому сигнал на следующий каскад-транзистор *ППЗ* не проходит.

Такая картина наблюдается при отсутствии входного сигнала от измерительного блока или других входных устройств.

Допустим, что входной сигнал существует. Он может быть разной полярности: «плюс» на зажиме *15*, «минус» на зажиме *14*, и наоборот (см. рис. 108). Потенциал сигнала в вершине моста увеличивает амплитуду импульсов, следующих с конденсатора *С1* через нелинейный мост. Но усиливается только тот полупериод, направление тока в котором совпадает с полярностью входного сигнала.

В другом полупериоде импульс, наоборот, ослабляется.

Картина наложения и усиления прямоугольных импульсов показана на рис. 111, *г* и *д*.

Так как вследствие действия входного сигнала величина импульсов, открывающих диоды моста, в разные полупериоды неодинакова, то амплитуда модулированного высокочастотного напряжения, выходящего с диагонали моста и приложенного к базе транзистора *ПП2*, тоже неодинакова.

На рис. 111, *е* и *ж* изображены графики выходного модулированного напряжения при разной полярности входного сигнала.

Как это видно из графиков, усиленный модулированный сигнал в зависимости от полярности входного сигнала сдвинут по фазе на 180° .

На рис. 111, *л* и *п* показан процесс усиления высокочастотного сигнала на транзисторе *ПП2*. Усиленный сигнал переменного тока также сдвинут по фазе.

Так как постоянная составляющая усиленного сигнала не проходит через трансформатор *Тр2*, на вторичной обмотке 4—5 (см. рис. 108) появится модулированное напряжение частотой 500 кГц, сдвинутое по фазе на 180° в зависимости от полярности входного сигнала (рис. 111, *м* и *р*).

После детектирования на конденсатор *С9* (см. рис. 108) будут поступать прямоугольные импульсы. Конденсатор не пропустит постоянную составляющую импульсов, равную уменьшенной амплитуде модулированного сигнала. Поэтому на базу триода *ППЗ* будут поступать только прямоугольные импульсы частотой 50 Гц. Причем в зависимости от полярности входного сигнала они будут сдвинуты на 180° (рис. 111, *н* и *с*). Следовательно, транзистор *ППЗ* будет открываться на одну сотую секунды в положительный или отрицательный полупериод напряжения на вторичных обмотках *Тр3* модуля питания в зависимости от полярности входного сигнала прибора.

На мост, образованный диодами *Д6*, *Д7*, *Д8* и *Д9 МУ*, от обмотки 5—4 трансформатора *Тр3* модуля питания поступают прямоугольные импульсы различной полярности, соответствующей изменению полярности напряжения сети. Прямоугольность импуль-

сов достигается тем, что стабилитроны *Д3* и *Д4* срезают верхнюю часть синусоиды каждого полупериода.

Упрощенная схема выходного каскада модуля усилителя показана на рис. 112.

Пусть на транзистор *ППЗ* благодаря наличию входного сигнала поступают импульсы, открывающие транзистор в момент, соответствующий направлению тока в обмотке трансформатора *Тр3* модуля питания от точки *5* к точке *4*. Проследим цепь тока: точка *4* обмотки трансформатора *Тр3*, обмотка *4—3* модуля триггера, об-

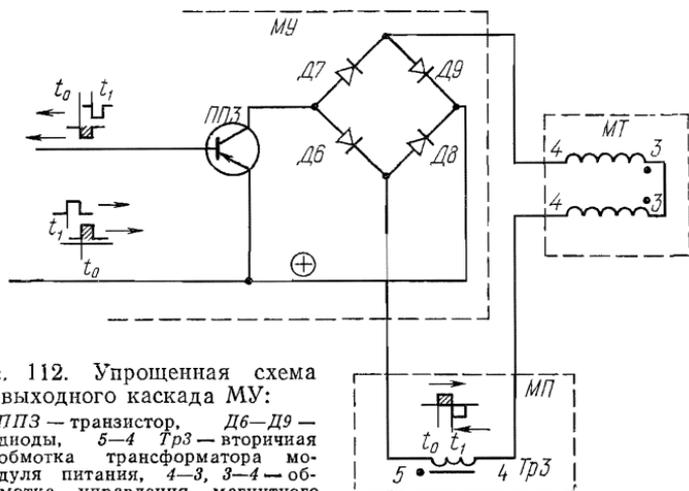


Рис. 112. Упрощенная схема выходного каскада МУ:

ППЗ — транзистор, *Д6—Д9* — диоды, *5—4 Тр3* — вторичная обмотка трансформатора модуля питания, *4—3, 3—4* — обмотка управления магнитного пускателя модуля триггера

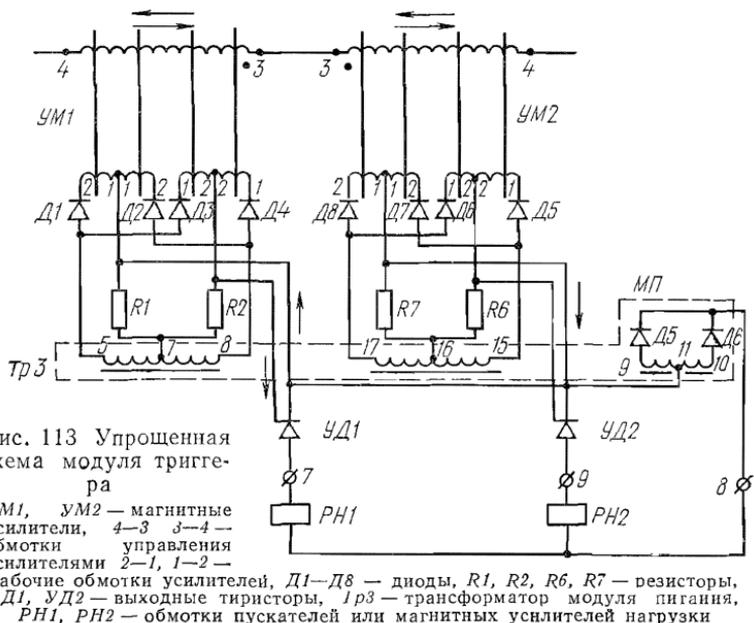
мотка *3—4* модуля триггера, диод *Д9* моста, шина «плюс», переход эмиттер — коллектор триода *ППЗ*, диод *Д6*, точка *5* обмотки трансформатора. В следующий полупериод напряжение на обмотке трансформатора действует от точки *4* к точке *5* и ток по цепи не пойдет, так как триод *ППЗ* будет закрыт.

Если сигнал постоянного тока на входе прибора такой полярности, что импульсы, поступающие на базу транзистора *ППЗ* открывают транзистор в полупериод, когда напряжение обмотки трансформатора *Тр3* соответствует току по обмотке от конца *4* к концу *5*, ток пойдет по цепи: конец *5*, диод *Д8* моста, переход эмиттер — коллектор триода *ППЗ*, диод *Д7*, обмотка *4—3* модуля триггера, обмотка *3—4* модуля триггера, конец *4* обмотки трансформатора.

Следовательно, направление тока в обмотках *3—4* и *4—3* модуля триггера меняется в зависимости от полярности входного сигнала постоянного тока.

Модуль триггера представляет собой магнитный усилитель, охваченный положительной обратной связью, что необходимо для придания ему релейной характеристики. Магнитный усилитель выполнен на пермалловых пластинах и имеет тиристорный выход.

Магнитный усилитель (см. рис. 108) имеет обмотки следующего назначения: рабочие обмотки 1—2 и 2—1, формирующие импульсы напряжения для управления выходными тиристорами УД1 и УД2; обмотки положительной обратной связи 5—6 и 6—5, предназначенные для образования триггерной характеристики магнитного усилителя; обмотки управления 3—4 и 4—3, предназначенные для управления магнитным усилителем; обмотки задания



7—8 и 8—7, предназначенные для изменения зоны нечувствительности прибора; обмотки логики 9—10 и 10—9, предназначенные для запитывания и отпитывания магнитного усилителя.

Резисторы R4 и R5 служат для изменения глубины положительной обратной связи. Изменение зоны нечувствительности прибора осуществляется изменением величины переменного сопротивления R12 «нечувствительность», расположенного на передней панели (БПП).

Для того чтобы открыть тиристор, на управляющий электрод прибора необходимо подать сигнал управления, а для того чтобы закрыть тиристор при снятом сигнале управления, надо подать на силовую цепь напряжение обратной полярности или ее отключить.

Рабочие обмотки магнитного усилителя УМ1 и УМ2 питаются от обмоток 5, 7, 8 и 15, 16, 17 трансформатора Tr3 МП и диодов Д1—Д4 и Д5—Д8.

На рис. 113 представлена упрощенная схема модуля триггера.

Обмотки управления 4—3 и 3—4 намотаны таким образом, что ток течет в одной обмотке «от начала к концу», а в другой —

«от конца к началу». Поэтому при прохождении тока управления по обмоткам 4—3 и 3—4 в усилителе УМ1 и УМ2 индуктивное сопротивление снижается в разных рабочих обмотках.

Пусть направление тока в обмотках управления таково, что уменьшается сопротивление правой по схеме обмотки 1—2 и 2—1 усилителя УМ1 и левой по схеме обмотки 2—1 и 1—2 усилителя УМ2. Тогда ток через диоды Д4, Д3 и Д8, Д7 будет больше, чем через диоды Д1, Д2 и Д6, Д5. Падение напряжения на резисторах R2 и R7 будет тоже больше, чем на резисторах R1 и R6. Под действием разности напряжений на управляющий электрод тиристора УД1 будет подан сигнал положительной полярности по отношению к катоду. Тиристор УД1 откроется.

Наоборот, под действием разности падения напряжений на резисторах R7 и R6 на тиристор УД2 будет подан сигнал обратной полярности, который будет запирает тиристор.

Как мы убедились, при изменении полярности входного сигнала постоянного тока ток управления в обмотках управления магнитными усилителями 3—4 и 4—3 изменит свое направление и, следовательно, упадет сопротивление смежных рабочих обмоток усилителей УМ1 и УМ2. В результате откроется тиристор УД2 и закроется тиристор УД1.

Выпрямитель Д5 и Д6 модуля питания, питающийся от обмотки 9—10 трансформатора Тр3 подает напряжение положительной полярности на выходной зажим 8. Через нагрузку РН1 или РН2 ток питания попадает на зажимы 7 и 9. В зависимости от того, какой тиристор открыт, ток пройдет по одной из обмоток нагрузки и попадет на среднюю точку 11 обмотки 9—10 трансформатора Тр3.

Питание может быть подано и от внешнего источника (см. рис. 108) через нагрузку на выходы Б и М, а затем через один из тириستоров на «минус» источника — зажим 10.

Конденсаторы С1, С3 и С2 сглаживают пульсацию выпрямленного тока.

С выпрямителя Д5, Д6 модуля питания выпрямленное напряжение подается в блок модуля обратной связи на среднюю точку между сигнальными лампами «Больше» и «Меньше». С появлением команды на выходе модуля триггера при открытии тиристора УД1 загорается сигнальная лампочка «Меньше», при открытии тиристора УД2 — сигнальная лампочка «Больше». Кроме того, под действием падения напряжения на сопротивлении одного из резисторов R9 или R10 M_{oc} в обмотке управления 3—4 магнитного усилителя модуля обратной связи возникнет ток определенного направления

Выходное напряжение магнитного усилителя модуля обратной связи имеет форму импульсов с большой скважностью, стабилизированных по амплитуде. Магнитный усилитель выполнен на пермалловых пластинах и имеет обмотки следующего назначения: рабочие обмотки 1—2 размещены на крайних стержнях магнитопровода и предназначены для формирования импульсов напря-

жения обратной связи; обмотки управления 3—4 размещены на среднем стержне сердечника магнитопровода, предназначены для подачи управляющего сигнала.

Рабочие обмотки магнитного усилителя питаются переменным напряжением с обмотки 12—13 трансформатора *Тр3* модуля питания.

Рабочие обмотки 1—2 вместе с резисторами *R5* и *R3* образуют мост. Неравновесное напряжение небаланса моста при отсутствии входного сигнала выравняется подбором сопротивлений *R4* и *R7*. При появлении управляющего сигнала на обмотке 3—4 магнитного усилителя в зависимости от направления тока управления сопротивление рабочей обмотки 1—2 (верхней или нижней по схеме) резко снижается. В результате балансировка моста нарушается и на выходе усилителя появляется напряжение с амплитудой импульса 100 В.

Это напряжение подается в цепь инерционной обратной связи. Инерционная обратная связь образована блоком конденсаторов *C1*, зарядными сопротивлениями резисторов *R1*, *R10* и разрядными сопротивлениями резисторов *R14*—*R23*, установленными на переключателях блока передней панели.

Неоновые лампы *ЛН1*, *ЛН2* отделяют цепь разряда конденсатора обратной связи от цепи заряда. Подбором сопротивления резистора *R6* регулируется величина напряжения обратной связи.

Неоновая лампа *ЛН3* разделяет цепь устройства «Импульс», позволяющего изменять длительность импульса при неизменной скорости связи.

Диоды *Д3*, *Д4* в цепи управляющей обмотки магнитного усилителя предотвращают проникновение эдс самоиндукции с индуктивной нагрузки блока триггера в цепь управления магнитным усилителем.

Рассмотрим цепи следования сигнала. Пусть в модуле триггера открыт тиристор *УД1*. Ток с выпрямителя *Д5*, *Д6* модуля питания пройдет лампу «Меньше» и резистор *R10*, диод *Д4* модуля обратной связи, тиристор *УД1* и попадет на среднюю точку 11 обмотки питания 9—10 трансформатора *Тр3*.

Под действием создавшегося на сопротивлении резистора *R10* падения напряжения через обмотку управления магнитного усилителя потечет ток от конца 3 к концу 4. Индуктивное сопротивление верхней по схеме рабочей обмотки 1—2 снизится. Баланс моста нарушится. С обмотки 12—13 трансформатора питания *Тр3* блока питания с провода 13 ток пройдет рабочую обмотку 2—1, диод *Д2*, резистор «Импульс» *R25*, блок конденсаторов *C1*, одно из сопротивлений *R1*—*R10* (в зависимости от установки переключателя *ГП2* «скорость связи»), неоновые лампы *ЛН1*, *ЛН2*, резистор *R1*, резистор *R3* и попадет на провод 12 обмотки трансформатора *Тр3*.

Через конденсатор *C1* проходит импульс однополупериодного напряжения. Конденсатор *C1* заряжается с положительным потенциалом на правой по схеме обкладке конденсатора. Лампы *ЛН1* и *ЛН2* не позволяют конденсатору разряжаться по цепям заряда.

Напряжение разряда конденсатора направлено против напряжения входного сигнала постоянного тока. Этим обеспечивается отрицательная обратная связь.

Если на выходе модуля триггера появился сигнал «Меньше», это значит, что на вход прибора был подан сигнал с плюсом на зажим 15 и минусом на зажим 14. Такая полярность сигнала открывает диод $D2$ нелинейного моста модуля усиления. Так как блок конденсаторов $C1$ зарядился плюсом на правую по схеме обкладку, цепь разряда будет следующей: резистор $R25$ — «Импульс», точка 7, шина «плюс» модуля усилителя, резистор $R24$ — «Корректор» нелинейного моста, резисторы $R5$ и $R6$, диоды $D1$ и $D2$, резистор $R4$, резистор $R1$, минусовая обкладка конденсатора $C1$.

Таким образом, напряжение конденсатора, с одной стороны, увеличивает сопротивление диода $D2$, так как направлено против тока открытия диода входным сигналом, а с другой стороны, усиливает прямоугольный импульс, идущий от конденсатора $C1$ модуля усилителя во время его разряда, через диод $D1$ нелинейного моста.

На графике рис. 111, g и d это выглядит как постоянный сигнал, накладываемый на прямоугольные импульсы со стороны, обратной наложению входного сигнала.

Поэтому выходной высокочастотный сигнал приближается к форме, изображенной на рис. 111, u . После детектирования (рис. 111, $к$) этот сигнал постоянного тока задерживается конденсатором $C9$ модуля усилителя, в результате чего на выходе триггера команда исчезает.

Одновременно конденсатор $C1$ модуля обратной связи разряжается через один из резисторов $R14$ — $R23$ (в зависимости от положения переключателя $ГП1$ «Время интегрирования»). Когда напряжение на обкладках конденсатора $C1$ снизится так, что на выходе конденсатора $C9$ модуля усилителя вновь появятся прямоугольные импульсы достаточной амплитуды, тиристор $УД1$ опять откроется и снова на выходе прибора появится команда. Но так как каждый импульс команды приближает параметр к заданному значению, сигнал на выходе измерительного блока, а следовательно, на входных зажимах электронного блока становится все слабее. Поэтому время пауз между командами увеличивается, а время действия самой команды уменьшается.

При открытии тиристора $УД2$ полярность сигнала управления на обмотке 3 — 4 магнитного усилителя модуля обратной связи изменится. Упадёт сопротивление рабочей обмотки 1 — 2 (нижней по схеме) и конденсатор $C1$ будет заряжаться плюсом на левой по схеме обкладке. Следовательно, в этом случае напряжение разряда конденсатора обратной связи будет закрывать другой диод нелинейного моста.

На блок передней панели прибора вынесены: переключатели, «Время интегрирования», «Скорость связи», лампы «Больше», «Меньше», резистор $R25$ — «Импульс», резистор $R24$ — «Коррек-

тор», резистор $R13$ — «Демпфер», резистор $R12$ — «Нечувствительность», гнезда $G1$ и $G2$, кнопка K .

Индикаторные лампы $L2$ и $L1$ позволяют наблюдать за знаком выходного сигнала прибора. Кнопка K закорачивает вход прибора, поэтому при нажатой кнопке проверяется балансировка блока. Гнезда $G1$ и $G2$ — «Контроль нуля» предназначены для подключения вольтметра постоянного тока при балансировке электронного блока. Электронный блок выполнен в виде блочно-модульной конструкции. Электрическое соединение между блоками и модулями производится при помощи печатного жгута.

Прибор собирается на специальных литых направляющих, которые приворачиваются к боковым пазам блоков передней и задней панели. В пазы направляющих вставляется печатный жгут, который крепится винтами. В жгуте расположены элементы схемы (сопротивления, проволочные соединения и специальные гибкие контакты). В нем имеются отверстия, через которые пропускаются выводные концы модулей. Модули винтами крепятся к печатному жгуту. Гибкие контакты накладываются на соответствующие выводные концы модулей и блоков, затем припаивают. Такое соединение модулей и блоков с печатным жгутом позволяет в условиях эксплуатации быстро сменить вышедший из строя модуль или блок. Печатная плата устанавливается в обойму, которая защищает модуль от механических повреждений и служит для крепления модуля.

Регулирующий прибор предназначен для утопленного монтажа на вертикальной панели щита. Для устранения возможности попадания пыли в прибор через специальный штуцер и корпус может быть подведен сжатый воздух при давлении до 10 мм вод. ст. (98 Па).

Прокладка и разделка кабеля, соединяющего регулирующий прибор с другими элементами схемы регулирования, должна производиться по нормам, отвечающим рабочему напряжению 250 В. Все измерительные цепи могут быть объединены в один кабель. Провода силовой цепи выделяются в отдельный кабель.

При монтаже необходимо заземлить корпус регулирующего прибора с помощью специального винта на задней стенке кожуха. Эксплуатация без заземления не допускается.

Габариты фасадной части прибора 160×160 мм. Глубина прибора около 400 мм. Масса 12 кг.

§ 48. Программные регуляторы

Для осуществления регулирования технологического параметра по заранее заданной программе промышленность выпускает специальные приборы, называемые *программными регуляторами*.

Принцип действия программных устройств может быть различен и зависит от назначения прибора. Широко известен командный электропневматический прибор КЭП-12у. В этом приборе на основном валу, который приводится электродвигателем, поставлены

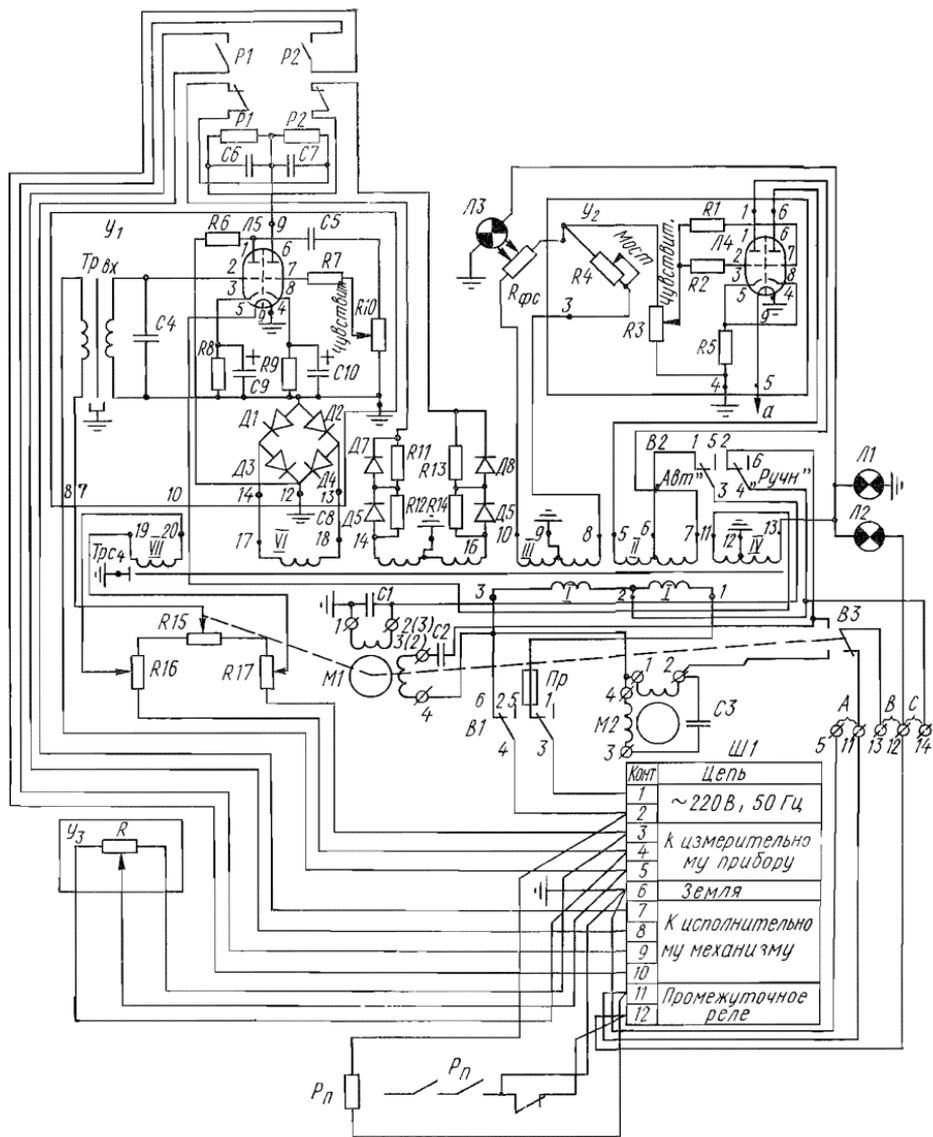


Рис. 114. Принципиальная электрическая схема программного регулятора РУ5-01М:

P , P — реле, $C1-C10$ — конденсаторы, $R1-R17$ — резисторы, Tr_{Bx} , Tr_{C4} — трансформаторы, $L4$, $L5$ — электронные лампы, $L1$, $L2$ — сигнальные лампы, $L3$ — лампа фотоголовки, $D1-D8$ — диоды, $M1$ — электродвигатель фотоголовки, $M2$ — электродвигатель лентопро-
 тряжного механизма, $B1$, $B2$, $B3$ — переключатели

специальные скобы, воздействующие на путевые выключатели, установленные над валом. В приборе можно задавать время одного оборота вала от нескольких минут до нескольких часов. Передвигая скобы по окружности вала, можно выбрать двенадцать разных программ, т. е. заставить путевые выключатели срабатывать по двенадцати разным каналам в заранее назначенное время.

На рис. 114 приведена принципиальная электрическая схема автоматического электронного регулирующего устройства РУ5-01М. Он предназначен для позиционного регулирования различных параметров по заданной программе и работает в комплекте с автоматическими измерительными приборами, имеющими встроенный реостатный задатчик.

Конструкция прибора предусматривает диаграммную ленту шириной 160 мм, протягиваемую электродвигателем $M2$ через фотоголовку между осветительной лампочкой $L3$ и фоторезистором $R_{\text{фс}}$.

Программа наносится черной тушью на диаграммную ленту шириной 160 мм, ширина полосы программы 10 мм. Фотоголовка «следит» за гранью полосы программы, нанесенной на диаграммной ленте.

Фотоголовка состоит из фоторезистора $R_{\text{фс}}$, включенного в одно из плеч мостовой следящей системы, и лампочки подсвета $L3$, расположенной с внутренней стороны диаграммной ленты. В зависимости от того, увеличилась или уменьшилась освещенная часть фоторезистора, его сопротивление соответственно изменится, а на выход усилителя следящей системы, собранного на лампе $L4$, будет подаваться сигнал разбаланса. В зависимости от фазы входного сигнала работает одна из половин лампы $L4$ и вал реверсивного двигателя $M1$, поворачиваясь в сторону, соответствующую этой фазе, будет перемещать каретку с указателем и фотоголовкой в сторону уменьшения разбаланса мостовой схемы. В момент, когда грань программы прикроет такую часть светочувствительного слоя фоторезистора, при которой его сопротивление $R_{\text{фс}} = R4$, мостовая схема окажется сбалансированной, сигнал будет равен нулю. Реверсивный двигатель остановится и будет находиться в этом положении, пока движение программы не изменит соотношения затемненной и освещенной площадей фоторезистора.

С выходным валом электродвигателя $M1$ связан реохорд задания $R15$, входящий в мостовую схему, образованную настроенными резисторами $R16$, $R17$ и реохордом R вторичного прибора или исполнительного механизма. При изменении сопротивления реохорда $R15$ сигнал дебаланса моста поступает на трансформатор $Tr_{\text{вх}}$, а с него на выходной усилитель, собранный на лампе $L5$. Нагрузкой лампы являются выходные реле $P1$ и $P2$. Контакты этих реле включают и отключают исполнительный орган системы, заставляя регулируемый параметр следовать заданной программе.

На рис. 115 представлена упрощенная схема узла привода реохорда задания и фотоголовки.

Фазочувствительный мост образован резистором $R_{\text{фс}}$ фотого-

ловки, резистором R_4 и вторичными обмотками III трансформатора $TrC4$.

Пусть фотоголовка отклонилась от грани заданной программы так, что сопротивление резистора $R_{\phi c}$ уменьшилось. Тогда в полупериод, когда напряжение в обмотке III приложено «от конца к началу», через резистор R_3 , находящийся в диагонали моста, пойдет ток от точки 2 к средней точке обмотки III трансформатора. На резисторе R_3 создается падение напряжения с «плюсом» в верхней по схеме точке резистора. Положительный потенциал будет подан на сетки лампы $Л4$.

В указанный полупериод будет работать левая по схеме половина лампы.

Направление тока в обмотке $1-2$ электродвигателя $M1$ всегда будет от точки 1 к точке 2. В обмотке $4-3$ направление тока меняется в каждый полупериод. В рассматриваемый полупериод в этой обмотке ток идет от точки 3 к точке 4. В следующий полупериод ток в резисторе R_3 будет идти от средней точки обмотки III к точке 2 и на сетки лампы будет подан отрицательный потенциал. Лампа $Л4$ закроется, ток в обмотке $1-2$ электродвигателя $M1$ уменьшится или исчезнет совсем. Поэтому в полупериод, когда в обмотке $4-3$ электродвигателя ток идет от точки 4 к точке 3, момент на валу электродвигателя будет исчезающе мал, в связи с чем при уменьшении сопротивления резистора $R_{\phi c}$ электродвигатель будет вращаться в одну сторону.

Рассмотрим теперь случай, когда полоса программы перемещается в другую сторону и сопротивление резистора $R_{\phi c}$ увеличивается. Тогда в первый из рассматриваемых полупериодов (обозначен сплошной стрелкой на обмотках трансформатора) ток в резисторе R_3 будет идти от средней точки обмотки III к точке 2 (пунктирная стрелка) и лампа $Л4$ будет закрыта. Лампа откроется в следующий полупериод, когда ток в основной обмотке электродвигателя будет идти от точки 4 к точке 3, т. е. в направлении, обратном первому рассматриваемому случаю. Поэтому электродвигатель будет вращаться в другую сторону.

На рис. 116 показан общий вид программного регулятора РУ5-01М. Все элементы и узлы программного устройства смонтированы в стальном корпусе. Программное устройство конструктивно состоит из лентопротяжного механизма, следящей системы с усилителем, двигателем и фотоголовкой, позиционного блока с уси-

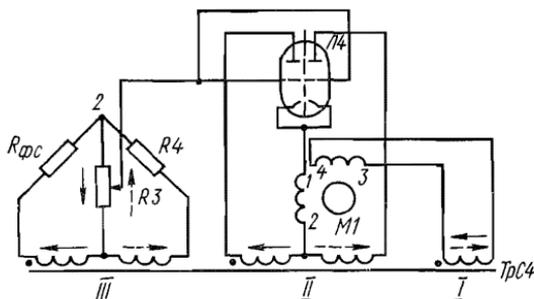


Рис. 115. Упрощенная схема узла привода реохорда задачи и фотоголовки:

$R_{\phi c}$, R_4 , R_3 — резисторы, $TrC4$ — трансформатор, I , II , III — вторичные обмотки трансформатора, $Л4$ — электронная лампа, $M1$ — электродвигатель реохорда задания и фотоголовки, $1-2$, $4-3$ — обмотки электродвигателя

лителем и реле, измерительной мостовой схемы, силового трансформатора. Корпус программного устройства защищает все элементы прибора от внешних воздействий, а также выполняет роль магнитного экрана.

На задней стенке корпуса размещается колодка внешних соединений. На нижней внутренней части его имеются направляющие для выдвижения кронштейна, на котором монтируются узлы программного устройства.

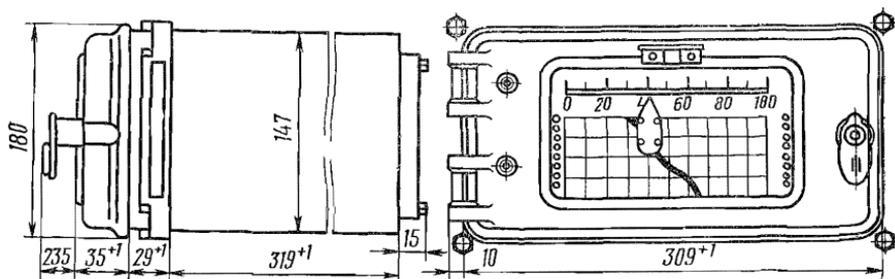


Рис. 116. Программное устройство PV5-01M

Конструкция редуктора программного устройства обеспечивает путем перестановки сменных шестерен возможность получения одной из десяти фиксированных скоростей продвижения диаграммной ленты (от 20 до 1440 мм/ч).

Масса прибора не более 16,5 кг.

Контрольные вопросы

1. В чем отличие регуляторов прямого действия от регуляторов косвенного действия?
2. Чем отличается однопозиционный регулятор от трехпозиционного?
3. Что такое дифференциал реле?
4. Как работает система сопло — заслонка?
5. Что такое пневмодрессель?
6. Для чего нужен конденсатор *C51* в измерительном блоке регулятора РПИБ?
7. Как работает триггер в регуляторе РПИБ?
8. Как влияет узел обратной связи на длительность команды в регуляторе РПИБ?
9. Почему чем больше отклонение регулируемого параметра от номинального значения, тем длительнее импульс выходного сигнала РПИБ?
10. Как работает узел лампы *L2* в приборе КПИ?
11. Как работает высокочастотный генератор в регуляторе РП-2?
12. Как образуются прямоугольные импульсы в регуляторе РП-2?
13. Как работает узел лампы в приборе PV5-01M?

Глава XI
РЕГУЛИРУЮЩИЕ ОРГАНЫ И ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ
МЕХАНИЗМЫ

Для непосредственного воздействия на поток жидкости, газа или пара в технологическом процессе служат регулирующие органы. Перемещение регулирующих органов осуществляется исполнительными механизмами. Регулирующие органы и исполнительные механизмы могут быть в виде двух отдельных агрегатов, связанных между собой с помощью тяг рычагов или тросов, или в виде комплектного устройства, где регулирующий орган жестко связан с исполнительным механизмом и образует моноблок.

Все исполнительные механизмы могут быть подразделены на три группы по виду энергии, создающей перестановочное усилие: электрические, пневматические и гидравлические.

Электрические исполнительные механизмы применяют в взрывоопасных и пожаробезопасных цехах. К таким цехам могут быть отнесены теплоэнергетические установки и отопительные котельные.

Электрические исполнительные механизмы обладают рядом преимуществ по сравнению с пневматическими и гидравлическими. Подвод энергии к ним проще, так как монтаж кабеля осуществляется легче, чем импульсных труб. Трассы кабельных линий не требуют такого пристального повседневного внимания эксплуатационного персонала, какое требуется для пневматических и гидравлических трасс.

Однако электрические исполнительные механизмы хуже, чем пневматические и гидравлические, работают в местах повышенной влажности и температуры.

Одним из главных недостатков электрических исполнительных механизмов является выбег сервомотора и люфты в редукторной передаче.

Пневматические исполнительные механизмы применяются для регулирования технологических процессов в химической, нефтехимической, пищевой и других отраслях промышленности. Это объясняется тем, что многие технологические процессы этих отраслей являются пожаро- или взрывоопасными. Пневматические исполнительные механизмы по стоимости выгодно отличаются от электрических механизмов.

Однако в некоторых случаях пневматические механизмы не могут быть применены. К этим случаям относятся: необходимость больших перестановочных усилий регулирующего органа (более 3000 — 4000 кгс, 30 000 — 40 000 Н) и передача команды от регулятора к исполнительному механизму на большое расстояние (более 300 м). В этом случае возникают значительные запаздывания в исполнении команды.

Гидравлические исполнительные механизмы имеют те же достоинства и недостатки, что и пневматические исполнительные механизмы, но применяются значительно реже.

Регулирование процессов теплотехнических установок осуществляется главным образом посредством изменения количества технологического агента в зависимости от значения регулируемого параметра.

Изменение количества технологического агента может производиться:

а) дросселированием потока подводимого агента — воды, пара, газа и т. д. В технологический трубопровод включается регулирующий орган, который меняет гидравлическое сопротивление участка трубопровода;

б) изменением напора, создаваемого агрегатом, являющимся источником подачи агента. Подключением дополнительных агрегатов, изменением числа оборотов и т. д.

Наиболее часто встречающийся способ регулирования — дросселирование.

При централизованной подаче регулирующего агента тогда, когда один агент работает на несколько объектов, другой способ регулирования невозможен. Регулирование включением дроссельного органа в систему подачи регулирующего агента неэкономично, так как в месте дросселирования теряется часть энергии давления, создаваемой источником напора.

Широкое применение метода дросселирования объясняется простотой его осуществления. Сущность процесса дросселирования сводится к уменьшению проходного сечения трубопровода регулирующим органом.

Всякий регулирующий дроссельный орган состоит из двух основных частей: неподвижного корпуса и перемещаемого относительно корпуса дросселирующего элемента. По роду движения дросселирующего элемента различают регулирующие органы с вращательным движением дросселирующего элемента (поворотные заслонки, краны) и поступательным (задвижки, клапаны).

§ 49. Поворотные регулирующие заслонки

Заслонка представляет собой диск, устанавливаемый поперек трубопровода. Она насаживается на ось, которая проходит в плоскости диска. Концы оси выводятся из трубопровода через сальники и опираются на подшипники. При повороте оси диск заслонки поворачивается в поперечном сечении трубопровода. В одном из крайних положений диск заслонки устанавливается поперек потока, перекрывая движение агента по трубопроводу; в другом крайнем положении плоскость диска параллельна струям потока и практически не оказывает сопротивления движению.

Все устройство — обечайка, диск с выходным валом, сальниками и подшипниками, рычаг, с помощью которого управляется диск, — выпускается заводами в комплекте, готовым устройством. К рычагу заслонки подсоединяется исполнительный механизм. На другом выходном конце вала может монтироваться ручной привод, представляющий собой маховик на выходном валу. Вращая от ру-

ки маховик, можно поворачивать заслонку внутри трубопровода.

При монтаже все устройство вставляется в разрез трубопровода.

Регулирующие заслонки как средства автоматического регулирования имеют следующие преимущества по сравнению с регулирующими клапанами:

в открытом положении гидравлическое сопротивление регулирующих заслонок значительно меньше, чем у регулирующих клапанов; поэтому заслонки применяются в тех случаях, когда недопустим большой перепад на регулирующем органе;

в регулирующих заслонках нет «мертвых» зон, в которых могут скапливаться механические частицы и грязь;

при использовании регулирующих заслонок поток регулируемой среды меньше изменяет свое направление, поэтому сопряженные регулирующие поверхности изнашиваются меньше;

регулирующие заслонки имеют сравнительно небольшие размеры и массу, так как их габарит по длине не превышает 100—150 мм.

§ 50. Электрические исполнительные механизмы

На рис. 117 показан электрический исполнительный механизм МЭО конструкции Московского завода тепловой автоматики.

Механизм электрический, однооборотный, предназначен для перемещения регулирующих органов в системах релейного регулирования и дистанционного управления.

Команда на исполнительный механизм может подаваться с помощью магнитного контактного пускателя или бесконтактного тиристорного пускателя. В соответствии с этим выпускаются исполнительные механизмы для контактного управления МЭОК и для бесконтактного МЭОБ.

Исполнительный механизм состоит из электродвигательной части *I*, называемой сервоприводом, и колонки управления *II*, называемой блоком сервопривода. Сервопривод состоит из трехфазного асинхронного реверсивного двигателя *3* с короткозамкнутым ротором. С вала двигателя момент вращения передается на редуктор *4*, состоящий из двух ступеней червячной передачи. На выходной вал редуктора насаживается рычаг *2*, который с помощью штанги сочленяется с регулирующим органом (рис. 118, *a*). Вращая маховик *1*, при ручном управлении можно повернуть выходной вал редуктора без помощи электродвигателя. При ручном управлении маховиком механическая передача от электродвигателя к маховику разъединяется.

Исполнительные механизмы к регулирующим органам подбираются по необходимому усилию для перемещения регулирующего органа. Характеристикой исполнительного механизма является номинальный крутящий момент на выходном валу, измеряемый в кгс·м (Н·м). Так, если номинальный момент выходного вала 25 кгс·м (245 Н·м), это значит, что если бы рычаг *2* имел длину

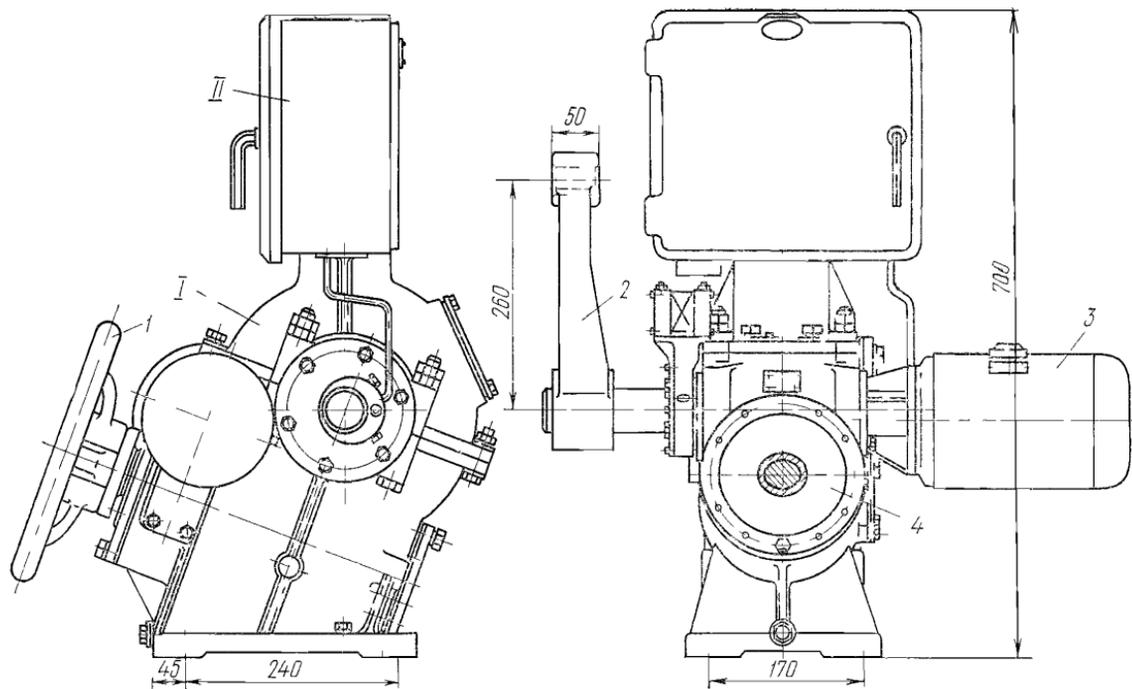


Рис. 117 Электрический исполнительный механизм МЭО

I — сервопривод, II — блок сервопривода, 1 — ручной маховик, 2 — выходной рычаг, 3 — электродвигатель, 4 — редуктор

1 м, то при работе исполнительного механизма на штангу передавалось бы усилие в 25 кгс (245 Н).

Чем короче выходной рычаг, тем большее усилие передается на штангу. Чтобы подсчитать усилие на рычаге, надо разделить момент выходного вала на длину рычага в метрах.

Выходной вал редуктора с помощью тяги 8 (рис. 119) связан с блоком сервопривода. Блок сервопривода представляет собой металлическую коробку, устанавливаемую непосредственно на серво-

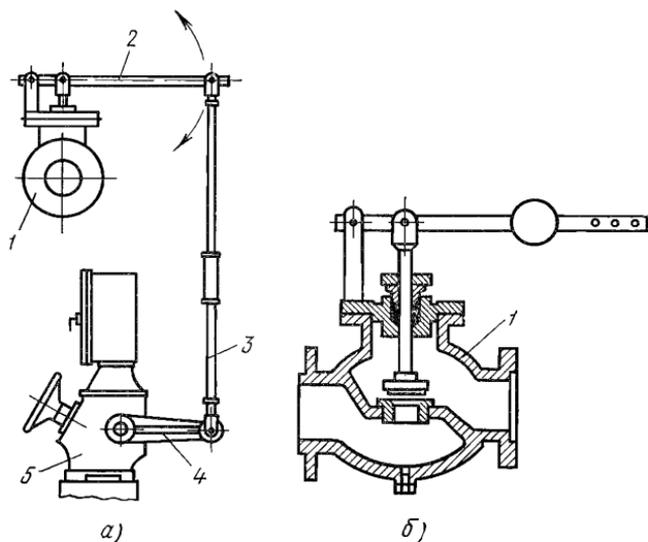


Рис. 118 Сочленение электрического исполнительного механизма с регулирующим органом с помощью штанги (а) и регулирующий клапан (б)

1 — регулирующий клапан, 2 — рычаг клапана, 3 — штанга, 4 — приводной рычаг, 5 — электрический исполнительный механизм

приводе. В блоке собраны аппараты и элементы, необходимые для осуществления электрической схемы управления исполнительным механизмом. Набор аппаратов в зависимости от типа блока может быть различным. На рис. 119 представлен блок с максимально возможным набором аппаратуры.

Тяга 8 через рычаг 5 и штангу 13 с устройством для изменения люфта передает движение на датчик 1. Дифференциально-трансформаторный преобразователь позволяет осуществлять обратную связь в компенсационных схемах измерения и регулирования. Устранить люфт в передаче на дифференциально-трансформаторный преобразователь можно, если передвинуть штангу 13, отпустив крепящий ее винт. Головка преобразователя 2 позволяет удлинять или укорачивать шток плунжера преобразователя.

Рычаг 5 соединен тягой с рычагом 9. На конце этого рычага насажено контактное устройство, которое скользит по реохорду

потенциометрического преобразователя 10. Потенциометрический преобразователь представляет собой резистор, сопротивление которого изменяется пропорционально углу поворота исполнительно-

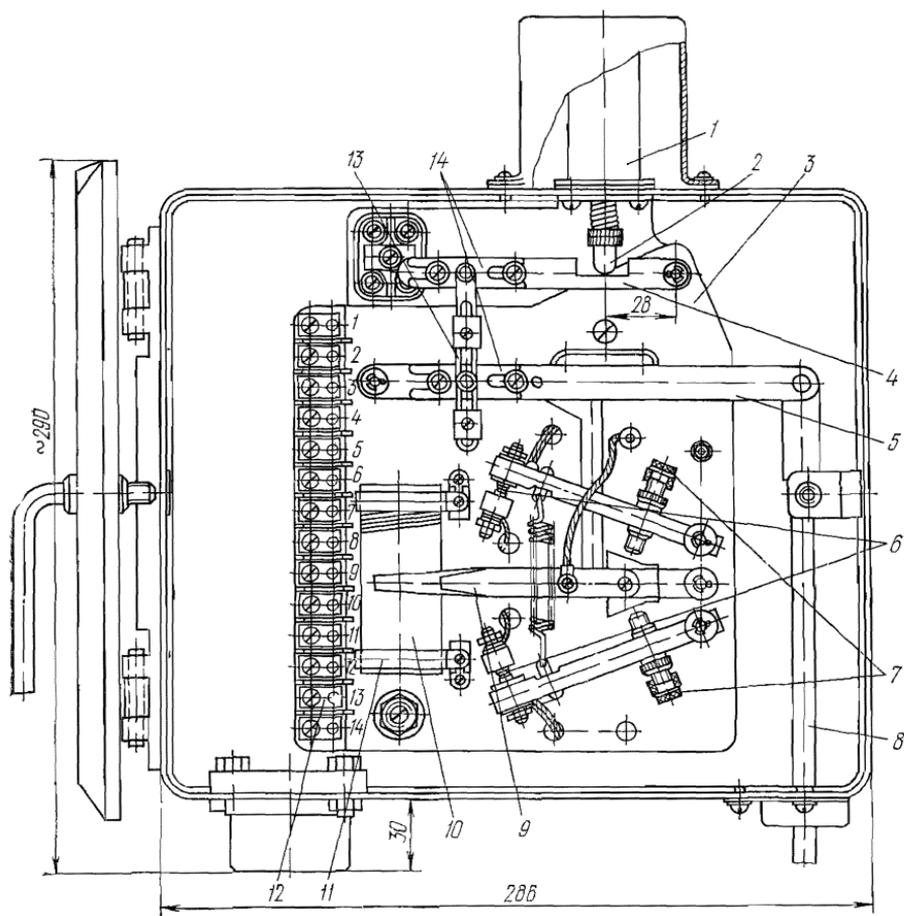


Рис 119 Блок сервопривода БС-3:

1 — дифтрансформаторный преобразователь, 2 — регулировочная головка дифтрансформаторного преобразователя, 3 — панель, 4, 5 — рычаги, 6 — контакты конечных и путевых выключателей, 7 — регулировочные винты конечных и путевых выключателей, 8 — передающая тяга, 9 — рычаг потенциометрического преобразователя, 10 — потенциометрический преобразователь, 11 — нижний хомут, 12 — доска зажимов, 13 — устройство для изменения люфта дифтрансформаторного преобразователя, 14 — устройство для изменения крутизны характеристики дифтрансформаторного преобразователя

го механизма. Полное сопротивление резистора 250 Ом. К зажимам резистора подключается унифицированный индикатор положения, измеряющий ток, проходящий по сопротивлению потенциометрического преобразователя, которое пропорционально положению исполнительного механизма. Таким образом, если индикатор

положения поместить на щит оператора или диспетчера, то диспетчер сможет следить за положением рычага исполнительного механизма, а следовательно, за положением регулирующего органа.

На рычаге 9 сделаны специальные уступы, которыми рычаг действует в конце своего хода на планки. На планках посажены контакты конечных выключателей, которых может быть по две штуки на каждой планке. Поворачивая винты 7, можно регулировать границы срабатывания конечных выключателей. Одна пара выключателей обязательно используется в схеме управления исполнительным механизмом для отключения электродвигателя в конце хода сервопривода, чтобы не вызвать поломок механических частей. Другая пара выключателей может быть использована для различных блокировок в схемах автоматики.

В коробке блока сервопривода помещены зажимы 12, на которые выведены все провода от аппаратов блока. Это позволяет подключать аппараты блока в схему внешних соединений, не производя монтажных работ на самих аппаратах. Блок сервопривода имеет крышку, открывающуюся как дверца и запирающуюся специальным ключом.

Все большее место в автоматическом регулировании занимают бесконтактные системы. В этих системах контактные элементы — реле и контакторы — заменены бесконтактными приборами — транзисторами и тиристорами. Бесконтактные элементы имеют ряд преимуществ перед контактными, основное из которых — повышенная надежность.

Релейные и контакторные устройства требуют постоянного обслуживания и заботы о чистоте контактов. Со временем контакты подгорают и окисляются, поэтому для того, чтобы сопротивление контактов поддерживалось минимальным, их приходится все время зачищать. Контактные механизмы имеют сложную кинематическую схему, работающую в режиме динамических ударов, поэтому срок службы реле и пускателей ограничен. Со временем сочленения расшатываются, пружины слабеют, подшипники изнашиваются и весь механизм начинает давать отказы в работе. Бесконтактные элементы лишены этих недостатков.

Желание создать бесконтактным весь тракт регулирования от получения сигнала до исполнения команды привело к разработке бесконтактного магнитного пускателя, с помощью которого управляется исполнительный механизм МЭОБ. Схема такого пускателя, называемого усилителем У-101, приведена на рис. 120.

Основным звеном пускателя являются два блокинг-генератора, собранные на транзисторах $T1$ и $T2$. Блокинг-генератор — это устройство, служащее для выработки импульсов определенной частоты. На рис. 121, а показана упрощенная схема блокинг-генератора. В целом устройство представляет собой генератор с очень сильной трансформаторной положительной обратной связью. Для получения сильной обратной связи используется трансформатор с ферромагнитным сердечником. Концы трансформатора включаются так, чтобы при увеличении коллекторного тока ток эмиттер — база

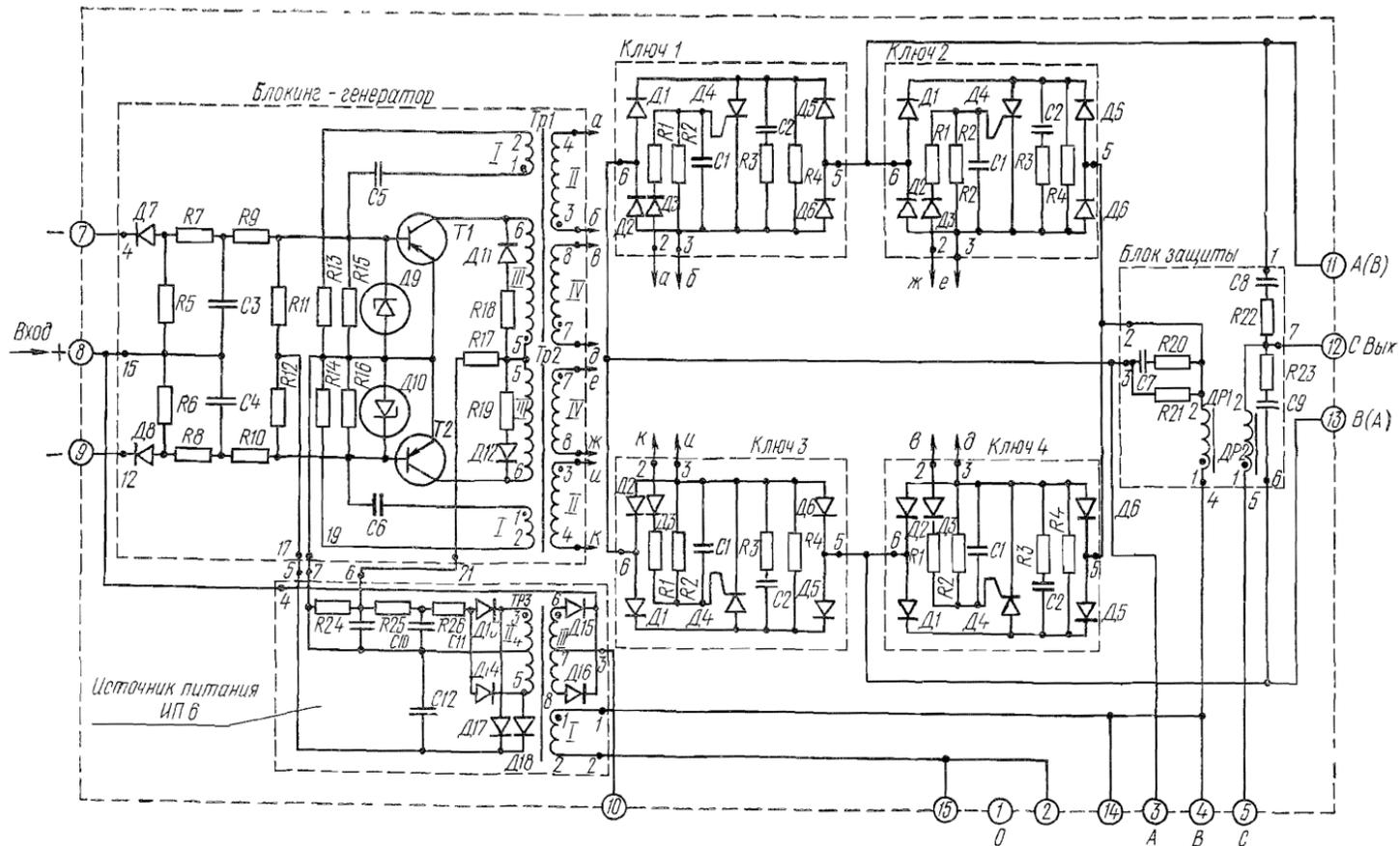


Рис. 120 Принципиальная электрическая схема бесконтактного пускателя У-101:

$Tr1$ — $Tr3$ — трансформаторы, $DP1$, $DP2$ — дроссели, $D9$, $D10$ — стабилитроны, $D4$ — тиристоры, $D1$ — $D3$, $D5$ — $D8$, $D11$ — $D18$ — диоды, $C1$ — $C12$ — конденсаторы, $T1$, $T2$ — транзисторы, $R1$ — $R26$ — резисторы

увеличивался, а при уменьшении коллекторного тока — ток эмиттер — база уменьшался. В цепь базы включен конденсатор $C5$ и резистор $R15$.

Рассмотрим процессы, происходящие в схеме с момента, когда конденсатор $C5$ заряжен до максимума током эмиттер — база. В этот момент на конце резистора $R15$, соединенного с базой три-

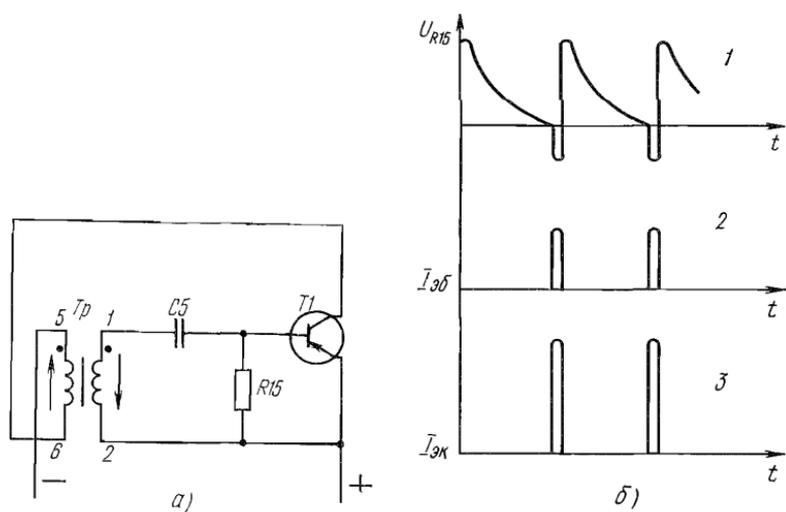


Рис. 121. Блокинг-генератор:

a — принципиальная схема, b — диаграмма процессов; $T1$ — транзистор, Tp — трансформатор, $R15$ — резистор, $C5$ — конденсатор; 1 — график напряжения на резисторе $R15$, 2 — график тока управления транзистором, 3 — график рабочего тока транзистора

ода, создается максимальное положительное напряжение и триод оказывается запертым. Следовательно, нагрузочного тока нет и нет тока через первичную обмотку трансформатора. Конденсатор $C5$ постепенно разряжается через сравнительно большое сопротивление резистора $R15$, поэтому напряжение на резисторе уменьшается. Этот процесс показан на графике рис. 121, b . В тот момент, когда конденсатор полностью разрядится и напряжение на резисторе $R15$ станет равным нулю, благодаря самоиндукции катушки $1-2$ открывается транзистор и возникает слабый ток эмиттер — коллектор. Этот ток, пройдя по обмотке трансформатора $6-5$, вызовет во вторичной обмотке ток с направлением от точки 1 к точке 2 .

Напряжение вторичной обмотки трансформатора, поданное на переход эмиттер — база, открывает триод и определяет собой управляющий ток. В свою очередь, управляющий ток вызовет увеличение нагрузочного тока, а следовательно, и напряжения на вторичной обмотке трансформатора $1-2$, что приведет к еще большему увеличению тока управления триода. Происходящий процесс является лавинообразным.

Ток эмиттер — база триода заряжает конденсатор $C5$. Когда триод откроется полностью, конденсатор зарядится до максимума, ток через него ослабнет, это приведет к спаданию нагрузочного тока. В момент максимума тока в обмотке $5—6$ направление тока в обмотке $1—2$ изменится и триод будет заперт, это приведет к лавинообразному уменьшению нагрузочного тока триода.

Далее конденсатор $C5$ снова начнет разряжаться и процесс повторится. Таким образом, нагрузочный ток триода будет состоять

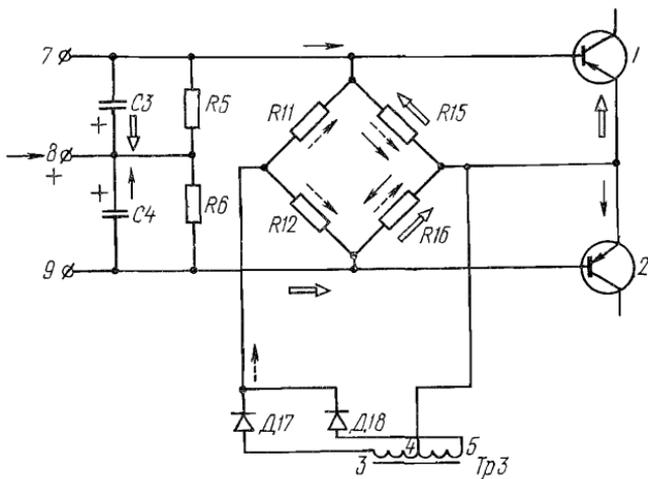


Рис. 122 Упрощенная схема входного устройства бесконтактного пускателя:

$C3$, $C4$ — конденсаторы, $R5—R16$ — резисторы, $T1$, $T2$ — транзисторы, $D17$, $D18$ — диоды, $Tr3$ — трансформатор

из импульсов, частота следования которых зависит от параметров конденсатора $C5$ и резистора $R15$.

Обмотка трансформатора $Tr1$ $6—5$ блокинг-генератора, собранного на транзисторе $T1$, передает импульсы в обмотку II и IV верхней части схемы. Обмотка $6—5$ трансформатора $Tr2$ блокинг-генератора, собранного на транзисторе $T2$, трансформирует импульсы в обмотку II и IV нижней части схемы. Обмотки II и IV присоединены к управляющим цепям тиристорных ключей $1—4$. Питание блокинг-генераторы получают от трансформатора $Tr3$.

Со средней точки 4 обмотки II трансформатора $Tr3$ ток попадает на эмиттеры транзисторов, затем, пройдя переход эмиттер — коллектор, обмотку III трансформатора $Tr1$ или $Tr2$, резисторы $R17$, $R25$, $R26$, через двухполупериодный выпрямитель, собранный на диодах $D13$ и $D14$, ток замыкается на обмотку II $Tr3$.

Упрощенная схема работы входного устройства бесконтактного пускателя показана на рис. 122.

Команда от регулятора поступает на входные зажимы 7 , 8 и 9 . На зажим 8 подается плюсовой потенциал, а к зажимам 7 и 9 подсоединяются зажимы выходных цепей регулятора.

Резисторы R_{11} , R_{12} , R_{15} , R_{16} образуют равновесный мост, который питается постоянным током от выпрямителя D_{17} , D_{18} , обмотки $3-4-5$ трансформатора Tr_3 .

Ток, проходящий по плечам моста, при отсутствии входного сигнала (показан пунктирными стрелками) на сопротивлениях R_{15} , R_{16} создает потенциал, плюсом приложенный к базам транзисторов T_1 и T_2 блокинг-генераторов. Поэтому триоды заперты и блокинг-генераторы не работают.

Пусть входной сигнал появится на зажимах 8 и 7 . Тогда конденсатор C_3 будет заряжен плюсом на нижней по схеме обкладке. Напряжение конденсатора будет приложено к вертикальной диагонали моста через резистор R_6 . Под действием этого напряжения ток разряда (показан двойными стрелками), проходя по сопротивлениям R_{16} , R_{15} , усилит положительный потенциал на базе T_2 и скомпенсирует запирающее напряжение на базе T_1 .

Кроме того, ток конденсатора, пройдя резистор R_{16} и переход эмиттер — база транзистора T_1 , включит в работу блокинг-генератор на триоде T_1 .

Если входная команда приложена к зажимам 8 и 9 , зарядится конденсатор C_4 и будет включен в работу блокинг-генератор, собранный на триоде T_2 .

Управляющие импульсы блокинг-генератора (см. рис. 120), создавая положительный потенциал на управляющем электроде тиристора, будут открывать ключи 1 и 4 . Импульсы следуют с частотой 3 кГц, т. е. в 60 раз больше, чем частота сети. Поэтому, пока работает блокинг-генератор, тиристор остается открытым.

Проследим путь тока силовой цепи. Напряжение сети подается на зажимы 3 , 4 , 5 (A , B , C). Ток фазы A с зажима 3 попадает в точку 6 ключа 1 , пройдя диод D_1 и тиристор D_4 , через диод D_6 ток попадает на зажим 11 , а оттуда в обмотку серводвигателя. Ток фазы B с зажима 4 , через дроссель DP_1 , диод D_5 ключа 4 , тиристор D_4 , диод D_2 попадает на зажим 13 , а оттуда в обмотку серводвигателя. Фаза C через дроссель DP_2 подключена непосредственно на выход усилителя (зажим 12).

Если блокинг-генератор 1 перестанет вырабатывать импульсы, то в момент перехода тока через нуль тиристоры D_4 ключей 1 и 4 закроются и больше не откроются. Ток через обмотки серводвигателя прекратится, и двигатель остановится.

При изменении знака управляющего сигнала начнет работать блокинг-генератор 2 и откроются ключи 2 и 3 . Ток с фазы A через ключ 3 попадет на выходной зажим 13 , а ток с фазы B через ключ 2 — на выходной зажим 11 .

Произойдет реверсирование электродвигателя исполнительного механизма.

Дистанционное управление пускателем может быть осуществлено подключением выходного напряжения с диодов D_{15} , D_{16} , обмотки III трансформатора Tr_3 и зажимы 7 и 9 через переключатель, присоединенный к зажиму 10 , соединенному со средней точкой обмотки III трансформатора Tr_3 .

В схеме применен целый ряд защит, в том числе и защиты от коротких замыканий, которые выполняются с помощью дросселей *ДР1* и *ДР2*.

§ 51. Пневматические исполнительные механизмы

Мембранные регулирующие клапаны (рис. 123) устанавливаются на трубопроводах и относятся к исполнительным устройствам средних расходов. Клапаны используются в системах автоматического регулирования для регулирования жидких, паро- и газообразных сред при температуре от -10 до $+225^{\circ}\text{C}$.

Пропускная способность (гидравлическое сопротивление) регулирующих клапанов изменяется в соответствии с пневматическим сигналом, поступающим от регулятора или прибора дистанционного управления.

Пневматические регулирующие клапаны выпускаются в двух модификациях: *ВЗ* (воздух закрывает) и *ВО* (воздух открывает).

В первом типе клапанов при подаче командного воздуха мембрана прогибается внутрь, преодолевая сопротивление упорной пружины, и клапан перекрывает проходное отверстие. Во втором типе клапанов плунжерный элемент выполнен такой формы, что при ходе штока вниз под действием сжатого воздуха проходное отверстие увеличивается.

Регулирующие клапаны (рис. 123, *а*) состоят из регулирующего органа *I* и пневматического мембранно-пружинного исполнительного механизма прямого действия *II*.

Мембранная камера исполнительного механизма соединяется пневматическим трубопроводом непосредственно с регулятором через отверстие *9*. Двухседельные регулирующие органы *I* клапанов имеют фланцевую проходную конструкцию. В корпус *1* регулирующего органа, закрытый сверху и снизу крышками *15*, *17* с направляющими втулками *16*, ввернуты седла *2*. Во втулках *16* может перемещаться разгруженный плунжер *14* со штоком *13*, который связан соединительной гайкой *12* с выходным звеном *11* исполнительного механизма. Верхняя крышка *15* корпуса *1* установлена на шпильках *4* и привернута гайками *3*. Сальник *5* сделан из фторопласта и в процессе эксплуатации может быть подтянут с помощью гаек *7*. Корпус и крышка клапана выполнены из серого чугуна; седла и плунжер — из нержавеющей стали; прокладки — из паронита; набивка сальника — из фторопласта-4.

Пневматический мембранно-пружинный исполнительный механизм прямого действия *II* устанавливается на верхней крышке *15* регулирующего органа *I* и закрепляется с помощью шлицевой гайки *6*. Для удобства сборки штока исполнительного механизма со штоком регулирующего органа и настройки исполнительного механизма соединительная гайка *12* выполнена разрезной.

При работе регулирующего клапана командное давление воздуха в пределах $0,2-1,0$ кгс/см² ($19,8-98$ кПа) подается непосредственно на мембрану *8* исполнительного механизма *II*, при этом

развивается усилие, передаваемое на выходное звено *11* исполнительного механизма и связанный с ним гайкой *12* шток *13* с плунжером *14* регулирующего органа. Перемещение плунжера *14* изменяет проходное сечение в седлах *2*, в результате чего расход среды изменяется.

При уменьшении давления командного воздуха мембрана под действием пружины *10* прогибается в обратную сторону и клапан открывается.

Клапаны выпускаются на условный проход от 25 до 300 мм.

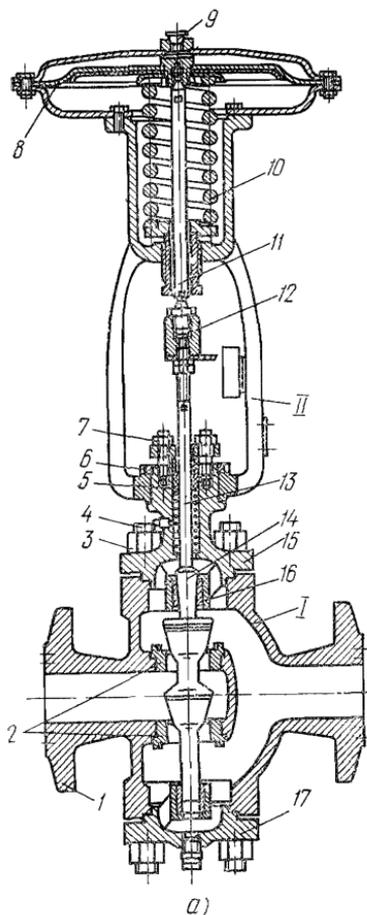
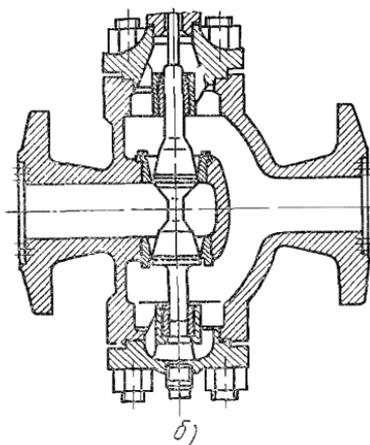


Рис. 123. Клапаны, регулирующие с мембранным исполнительным механизмом:

a — клапан ВЗ, *б* — клапан ВО; *1* — регулирующий орган, *11* — исполнительный механизм, *1* — корпус, *2* — седла, *3* — гайки соединения МИМ с клапаном, *4* — шпильки соединения МИМ с клапаном, *5* — сальник, *6* — шлицевая гайка, *7* — гайки регулирования сальника, *8* — мембрана, *9* — отверстие подвода воздуха, *10* — возвратная пружина, *11* — выходное звено, *12* — соединительная гайка, *13* — шток, *14* — плунжер, *15* — верхняя крышка, *16* — направляющие втулки, *17* — нижняя крышка



§ 52. Позиционеры

Позиционер предназначен для создания дополнительных усилий на штоке пневматического исполнительного механизма при появлении на регулирующем органе больших неуравновешенных усилий. Он обеспечивает повышенное быстродействие и точность установки штока механизма в строгом соответствии с пневмати-

ческим сигналом, поступающим от регулятора или управляющего устройства.

Позиционер (рис. 124) состоит из двух основных частей: чувствительного элемента 4 и устройства обратной связи 7.

Чувствительный элемент позиционера состоит из двух резиновых мембран 3 и 5, опирающихся на жестко соединенные между

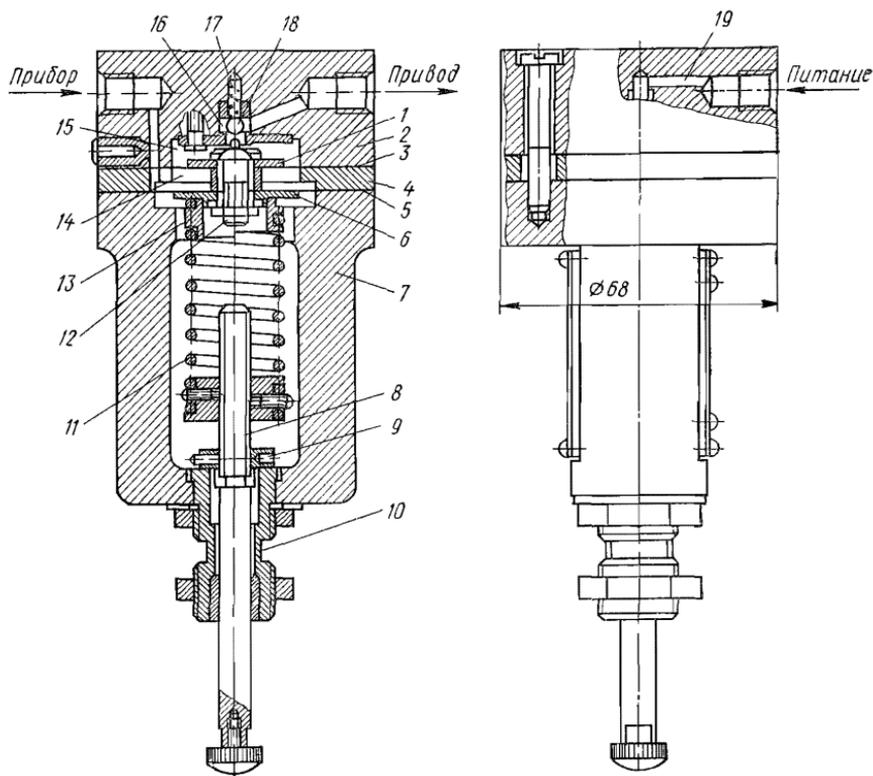


Рис. 124. Позиционер:

1, 6 — грибки, 2 — головка усилителя, 3, 5 — резиновые мембраны, 4 — чувствительный элемент, 7 — корпус устройства обратной связи, 8 — шток, 9 — регулировочная гайка, 10 — штуцер, 11, 17 — пружины, 12 — толкатель, 13 — опора, 14 — мембранная полость, 15 — нижняя камера, 16 — верхняя камера, 18 — шарик, 19 — канал питания

собой грибки 1 и 6 посредством специального болта (толкателя 12), действующего своим торцом на шарик 18 усилительного устройства. Резиновые мембраны 3 и 5 образуют полость 14 чувствительного элемента, ограниченную кольцом. Чувствительный элемент работает следующим образом. В полость 14 подается входной сигнал от 0,2 до 1,0 кгс/см² (19,8—98 кПа) по линии «Прибор» от регулирующего устройства. Изменение входного сигнала вызывает перемещение мембранной сборки, которая посредством толкателя 12 производит перемещение шарика 18, что, в свою очередь, вызывает изменение величины давления в золотниковой камере

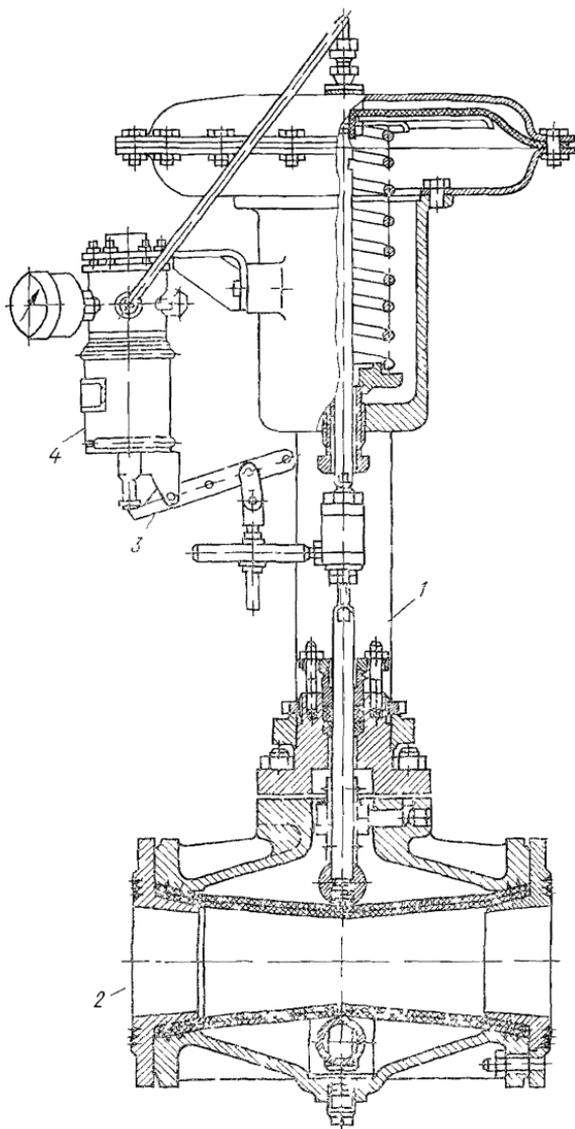


Рис. 125. Пример установки позиционера на мембранном исполнительном механизме:
 1 — МИМ, 2 — клапан, 3 — рычаг обратной связи, 4 — позиционер

усилительного устройства, соединенной с рабочей полостью мембранного исполнительного механизма.

Усилительное устройство состоит из золотникового элемента (шарика 18), помещенного в камеру 16 с четырьмя отверстиями, и пружины 17, постоянно действующей на шарик. Через канал 19 в золотниковую камеру поступает воздух питания из линии снабжения воздухом.

В некоторых типах позиционеров в корпус встраивается редуктор и тогда воздух в золотниковую камеру поступает из редуктора. Нижняя камера 15, находящаяся под шариком, сообщается с атмосферой. Боковое отверстие «Привод» соединяется с полостью мембранного исполнительного механизма.

Устройство обратной связи состоит из штока 8, пружины обратной связи 11 и регулирующей гайки 9. Пример установки позиционера на исполнительном механизме показан на рис. 125.

Работа позиционера в комплекте с мембранным исполнительным механизмом осуществляется следующим образом. В начальном положении сила, развиваемая чувствительным элементом при давлении входного сигнала $0,2 \text{ кгс/см}^2$ (19,8 кПа), компенсируется силой предвратительного натяга пружины обратной связи.

При увеличении давления входного сигнала усилие, развиваемое чувствительным элементом, возрастает и мембранная сборка вместе с толкателем 12 (см. рис. 124) перемещается вниз, давая возможность шарiku золотникового устройства под действием пружины 17 перекрыть отверстие для выхода воздуха в атмосферу. При этом давление в золотниковой камере, а следовательно, и в мембранном исполнительном механизме увеличивается.

В результате этого шток мембранного исполнительного механизма перемещается вниз и через устройство обратной связи сжимает пружину 11. В тот момент, когда сила сжатия пружины уравновесит усилие, развиваемое чувствительным элементом, вся система приходит в равновесие.

Увеличение входного сигнала до 1 кгс/см^2 (98 кПа) вызывает полное перемещение штока мембранного исполнительного механизма. При уменьшении давления действие позиционера происходит в обратном направлении: мембранная сборка под действием пружины обратной связи 11 поднимается вверх и приподнимает шарик 18, увеличивая выход воздуха в атмосферу из золотниковой камеры, что, в свою очередь, вызывает уменьшение давления воздуха в линии «Привод». Шток мембранного исполнительного механизма под действием пружины поднимается вверх на величину, необходимую для создания равновесия системы, соответствующей заданному входному сигналу.

§ 53. Характеристики регулирующих органов

Форма рабочих поверхностей у клапана на рис. 126 так называемого «пробочного типа» — сплошная. У других клапанов могут быть и другие формы рабочих поверхностей. На рис. 126, а пока-

заны рабочие поверхности золотниковового типа, а на рис. 126, б — клапан, футерованный резиной с рабочими поверхностями тарельчатого типа.

Форма рабочих поверхностей имеет большое значение для работы регулирующего органа. Она определяет характеристику регулирующего органа, т. е. зависимость расхода вещества через регулирующий орган от перемещения его затвора в рабочих условиях. У клапанов с гладкими рабочими поверхностями проробочного типа, как правило, характеристика линейная, т. е. пропускная способность клапана прямо пропорциональна ходу плунжера. У других клапанов характеристика может подчиняться математическим законам какой-либо кривой: параболы, кривой логарифмов и т. д.

Пропускная характеристика клапана имеет решающее значение при выборе клапана для автоматической системы регулирования. Покажем это на двух примерах.

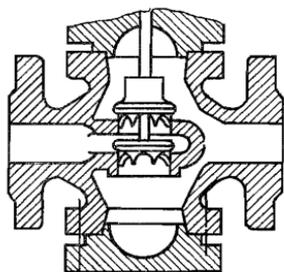
Имеются две системы, в которых регулируется расход.

В системе *А* вода из верхнего бака подается в нижний. На трубопроводе, соединяющем оба бака, установлен регулирующий клапан. Так как баки соединены прямым трубопроводом, сопротивление трубопровода по сравнению с сопротивлением регулирующего клапана незначительно. Перепад давления на трассе трубопровода при полностью открытом клапане мало влияет на сопротивление всей системы. Таким образом, изменение расхода жидкости в трубопроводе в основном будет зависеть от положения регулирующего органа.

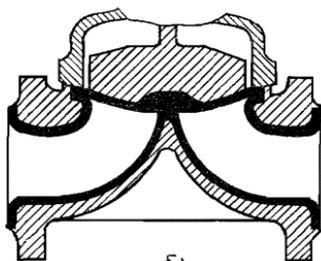
В этом случае регулирующий орган должен обладать линейной характеристикой. Тогда перемещение рабочего органа будет пропорционально воздействию регулятора на исполнительный механизм, а следовательно, изменение расхода будет пропорционально команде регулятора.

В системе *Б* вода подается под напором по трубопроводу, имеющему большое сопротивление; длина трубопровода значительна, на трубопроводе имеется много колен, переходов, задвижек и т. п.

При максимальных расходах, которые возможны в системе *Б*, перепад давления в трубопроводе может значительно влиять на расход в системе. Так как сопротивление тракта и перепад давления изменяются пропорционально квадрату расхода, кривая пере-



а)



б)

Рис. 126. Форма регулирующих поверхностей клапанов

а — золотниковового типа, б — тарельчатого типа

пада в зависимости от расхода в системе будет нелинейна (рис. 127, а).

Одному и тому же изменению расхода ΔQ при малом и большом расходе в системе будут соответствовать различные перепады ΔP_1 и ΔP_2 . Причем изменение перепада ΔP_2 при большом расходе будет значительно больше ΔP_1 . Поэтому для изменения расхода на одну и ту же величину при линейной характеристике регулирующего органа в зонах малых и больших расходов потребуется разный ход регулирующего органа.

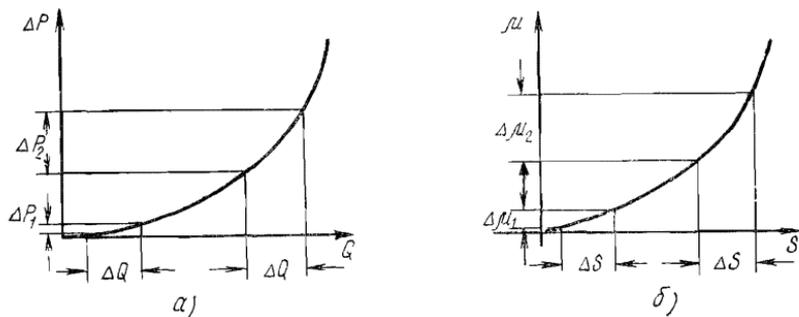


Рис. 127 Характеристика трубопровода (а) и расходная характеристика регулирующего органа (б)

ΔQ — приращение расхода в трубопроводе, ΔP — перепад на тракте трубопровода, ΔS — ход затвора, $\Delta \mu$ — расход вещества через регулирующий орган

Вместе с тем в регулятор не поступает информация о том, в какой зоне расходов в данный момент производится регулирование. Поэтому система регулирования будет работать лучше, если взять регулирующий орган с равнопроцентной (логарифмической) характеристикой. В этой характеристике (рис. 127, б) расход вещества через регулирующий орган непропорционален ходу регулирующего органа. В начале перемещения регулирующего органа на постоянную величину ΔS расход вещества μ увеличивается незначительно, а в конце хода регулирующего органа то же самое перемещение вызывает гораздо большее приращение расхода.

Так как начальное перемещение регулирующего органа соответствует зоне малых расходов, а конечное перемещение — зоне больших расходов, то при правильном подборе регулирующего органа можно компенсировать нелинейное приращение расхода в системе за счет повышенного перепада, что значительно облегчит работу регулятора.

Иногда получить желаемую или близкую к желаемой характеристику можно с помощью различных способов сочленения исполнительного механизма с регулирующим органом.

На рис. 128 показаны два способа сочленения рычага исполнительного механизма с рычагом регулирующей заслонки, установленной в трубопроводе.

В положении, показанном на рис. 128, а, когда заслонка перекрывает трубопровод, рычаги исполнительного механизма и за-

слонки устанавливаются под одинаковым углом и соединяются жесткой тягой. При вращении вала исполнительного механизма по часовой стрелке рычаг и вал заслонки также поворачиваются по часовой стрелке. Угол поворота рычага исполнительного механизма равен углу поворота заслонки. При этом сочленении характеристика регулирующего органа не меняется.

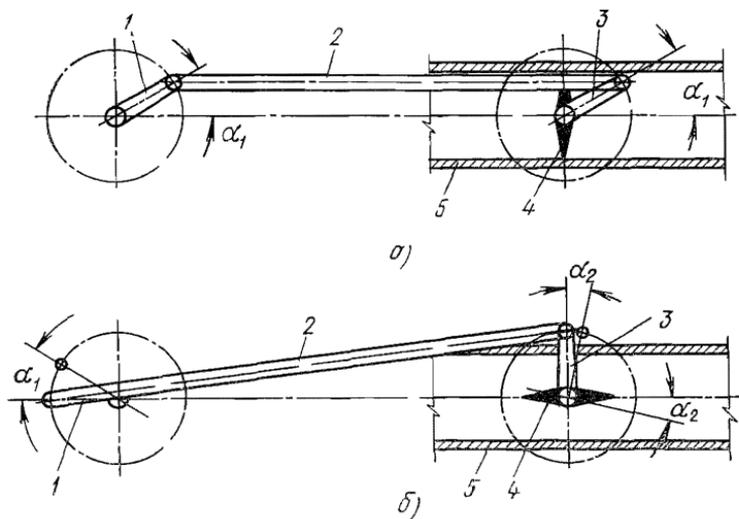


Рис. 128 Схемы сочленения исполнительного механизма с регулирующей заслонкой:

а — без исправления характеристики заслонки, *б* — с исправлением характеристики заслонки, 1 — рычаг исполнительного механизма, 2 — тяга, 3 — рычаг заслонки, 4 — заслонка, 5 — трубопровод

Регулирующая заслонка дает нелинейную характеристику. При малом отклонении заслонки от вертикального положения в трубопроводе приращение расхода незначительно. Когда заслонка занимает почти горизонтальное положение, небольшой угол поворота ее резко меняет гидравлическое сопротивление.

При сочленении рычагов заслонки и исполнительного механизма, показанном на рис. 128, *б*, характеристика работы заслонки может быть значительно исправлена. При повороте рычага исполнительного механизма на угол α_1 заслонка поворачивается на угол α_2 , который значительно меньше угла α_1 .

При дальнейшем повороте рычага исполнительного механизма приращение угла поворота заслонки будет все время возрастать. Поэтому в положении, когда ход заслонки сильно влияет на расход в трубопроводе, она почти не двигается, а в положениях, где характеристика более пологая, ее поворот становится значительным.

Кроме зависимости расхода вещества от хода рабочих частей каждый регулирующий орган характеризуется удельной пропускной способностью *C*. Удельная пропускная способность регули-

ющего дроссельного органа является условной величиной, численно равной расходу несжимаемой жидкости с плотностью $\gamma=1$ г/см³, пропускаемой полностью открытым регулирующим органом при перепаде давления на нем в 1 кгс/см².

Значение коэффициента C определяется посредством гидравлических испытаний на специальных стендах путем измерения величины перепада и расхода на регулирующем органе и подсчета удельной пропускной способности по формуле

$$C = \frac{Q}{\sqrt{\frac{\Delta P}{\gamma}}} \text{ или } C = \frac{G}{\sqrt{\Delta P \gamma}},$$

где ΔP — перепад давления на дросселирующем органе, кгс/см²; Q — расход, м³/ч; G — расход, т/ч; γ — плотность протекающего вещества, г/см³.

Каждый регулирующий орган, выпускаемый заводами, имеет свою удельную пропускную способность, которая указывается в документации на этот орган.

При выборе дросселирующего аппарата подсчитывают максимальную пропускную способность регулирующего органа и подбирают клапан таким образом, чтобы максимальная пропускная способность была равна или была меньше удельной пропускной способности, приведенной в документации на выбранный регулирующий орган.

Нельзя принимать произвольный перепад давления ΔP и рассчитывать по этой величине удельную пропускную способность регулирующего органа.

При установке клапана или другого дросселирующего органа необходимо выбрать диаметр трубопровода так, чтобы в нем были минимальные потери давления, а главная потеря давления была бы в регулирующем органе.

Двукратная суммарная потеря давления в трубопроводе (без учета потерь на клапане) является минимальным перепадом для расчета клапана на нормальную нагрузку. Занижение расчетного перепада давления на клапане может привести к тому, что в большей части своего хода регулирующий орган не будет оказывать влияния на величину расхода среды в трубопроводе. А когда такое влияние начнет сказываться, то оставшаяся часть хода клапана будет настолько мала, что клапан полностью перекроет трубопровод.

В результате преобразователь за клапаном даст сигнал на открытие клапана. Небольшой сдвиг регулирующего органа в сторону открытия (при недостаточном перепаде на клапане) приведет к восстановлению регулируемой величины до первоначального максимума. При этом в системе регулирования могут возникнуть автоколебания или она перейдет в позиционный режим работы.

Для получения прямолинейных характеристик регулируемой системы и для увеличения эффективности работы регулирующего

клапана необходимо, чтобы на клапан падала наибольшая доля перепада давления в системе. Однако увеличение перепада давления на регулирующем органе приводит к необходимости повышения общего напора в системе, а следовательно, к завышению мощности источника напора.

§ 54. Регулирующие органы тягодутьевых машин

В тепловом процессе котельного агрегата особое значение имеет регулирование подачи воздуха и создание необходимого разрежения в топке. Оба эти параметра непосредственно влияют на экономичность работы котельного агрегата.

В связи с тем что в топку подаются большие объемы воздуха и отсасываются большие объемы топочных газов, регулирование с помощью дросселирования потока воздуха и газа по тракту подачи воздуха и отсоса газов затруднительно.

В этом случае регулирование осуществляется изменением производительности вентилятора и дымососа.

Вентиляторы и дымососы, предназначенные для котельных агрегатов, выпускаются со специальным направляющим аппаратом, позволяющим регулировать производительность агрегата.

Направляющий аппарат (рис. 129) представляет собой многолопастное дроссельное устройство, устанавливаемое непосредственно во всасывающем патрубке машины. Направляющий аппарат дросселирует и одновременно закручивает поток в сторону вращения ротора вентилятора.

Лопасты направляющего аппарата 2, выполненные в виде секторов круга, укреплены каждый на своей оси 3. Оси имеют выход за обечайку всасывающего патрубка. На выходные концы осей жестко посажены серьги 1, укрепленные с другой стороны к кольцу 4. При повороте кольца вокруг всасывающего патрубка

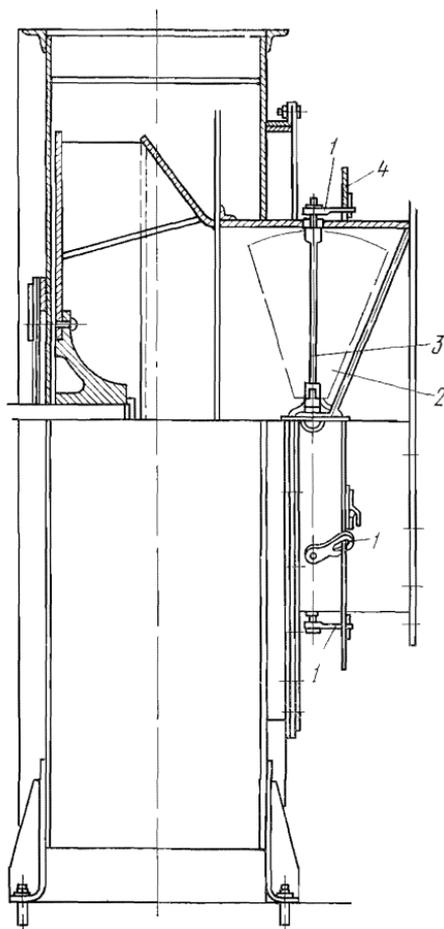


Рис. 129. Устройство направляющего аппарата вентилятора:

1 — серьга, 2 — лопасть направляющего аппарата, 3 — ось лопасти, 4 — приводное кольцо

серьги будут увлечены в сторону вращения кольца и повернут оси, на которых укреплены лопасти. Таким образом, лопасти могут быть поставлены параллельно оси потока, как показано штрихпунктиром, или поперек потока.

Для автоматического регулирования производительности агрегата к управляющему кольцу подсоединяется тяга электрического исполнительного механизма. Регулирование производительности воздухоподводящего агрегата дросселированием воздуха или газов на входе машины является неэкономичным способом.

Дело в том, что мощность, кВт, затрачиваемая приводным двигателем вентилятора, подсчитывается по формуле

$$N = \frac{H_n Q}{102 \eta_v \eta_{п}},$$

где H_n — напор, который развивает вентилятор, мм вод. ст.; Q — производительность вентилятора, м³/с; η_v — коэффициент полезного действия вентилятора; $\eta_{п}$ — коэффициент полезного действия передачи от электродвигателя к вентилятору.

В единицах СИ формула определения мощности будет

$$N = \frac{H_n Q}{9,8 \eta_v \eta_{п}},$$

где H_n — напор, Па; Q — производительность, м³/с; η_v — КПД вентилятора; $\eta_{п}$ — КПД передачи.

Напор вентилятора H_n складывается из напора, измеренного на напорном патрубке вентилятора, и разрежения на всасывающем патрубке $H_n = H_n + H_{вс}$.

При увеличении сопротивления на всасе вентилятора производительность машины падает, но разрежение несколько увеличивается, хотя это не требуется для подачи требуемого количества воздуха или газа.

Экономически целесообразней было бы регулировать частоту вращения вентилятора и тем самым изменять как производительность, так и напор агрегата.

В настоящее время разработано несколько методов и выпускаются специальные устройства для регулирования частоты вращения агрегатов.

К этим устройствам относятся электромагнитные индукционные муфты скольжения и тиристорные устройства для работы электродвигателей в режиме асинхронно-вентильного каскада.

Электромагнитные муфты скольжения представляют собой механизм, подобный асинхронному двигателю, в котором вращаются как ротор, так и статор. Муфта устанавливается между электродвигателем и приводным агрегатом. Ротор муфты механически связан с валом вентилятора, а статор — с валом электродвигателя.

Регулирование частоты вращения вентилятора осуществляется путем изменения магнитной связи ротора муфты со статором за счет изменения тока возбуждения. При изменении тока возбуждения изменяется величина магнитной потока, связывающего ро-

тор и статор муфты, скольжение ротора по отношению к статору меняется так, как это происходит в асинхронных двигателях. Уменьшение тока возбуждения муфты приводит к уменьшению частоты вращения вентилятора, хотя скорость электродвигателя остается номинальной.

В системе асинхронно-вентильного каскада приводным двигателем выбирается асинхронный двигатель с фазным ротором. С помощью тиристорных вентиляей изменяется ток ротора двигателя, что приводит к изменению частоты вращения двигателя, с валом которого связан вентилятор.

Способ регулирования частоты вращения с помощью системы асинхронно-вентильного каскада является наиболее экономичным, так как в индукционных муфтах часть энергии скольжения затрачивается на нагрев муфты. Однако установка асинхронно-вентильного каскада значительно дороже установки индукционной муфты.

§ 55. Особенности эксплуатации и монтажа исполнительных механизмов и регулирующих органов

Электрические исполнительные механизмы предназначены для работы в стационарных установках в закрытых взрывобезопасных помещениях. Монтаж электрических двигательных исполнительных механизмов производится на полу без строительства специальных фундаментов, либо на специальных стойках и подставках.

Установка механизма должна производиться так, чтобы ведущий вал располагался горизонтально. Допустимое отклонение от горизонтального положения до 15° в любую сторону. Сила, действующая на рычаг исполнительного механизма, должна лежать в плоскости, перпендикулярной оси выходного вала с отклонением не более $\pm 3^\circ$. Механизмы должны монтироваться в местах с умеренной вибрацией.

Помещение, в котором устанавливается механизм, должно иметь температуру воздуха не ниже -20 и не выше $+50^\circ\text{C}$ при относительной влажности от 30 до 80%, при отсутствии агрессивных газов в атмосфере.

Место установки механизма должно быть доступным для его обслуживания. Корпус механизма должен быть заземлен через болт заземления медным проводом сечением не менее 4 мм^2 или алюминиевым проводом сечением не менее 6 мм^2 .

Посадку рычага на выходной вал исполнительного механизма необходимо производить от руки или при помощи деревянного молотка. Уточнив положение рычага, его необходимо застопорить установочным винтом. Штанги, сочленяющие исполнительный механизм с регулирующим органом, необходимо монтировать таким образом, чтобы не было усилий, действующих вдоль оси серводвигателя.

Серводвигатели исполнительных механизмов поставляются без масла, поэтому перед их пуском корпус редуктора необходимо за-

полнить специальным маслом. Обычно для этой цели употребляют автотракторное масло марки АК-10 ГОСТ 1862—63 (автол-10).

Температура масляной ванны редуктора при непрерывной работе не должна превышать 100° С при температуре окружающего воздуха до 50° С.

Для смазки роликоподшипников и шарнирных сочленений применяют смазку УТВ ГОСТ 1631—61 (смазка 1—13). Корпуса подшипников заполняют смазкой не более чем на $\frac{2}{3}$ свободного объема. Осмотр и добавку смазки желательно производить через каждые 3—4 месяца, полную смену смазки с промывкой корпусов роликоподшипников и самих роликоподшипников — не реже одного раза в год.

Смену масла в корпусе редуктора, а также промывку керосином необходимо производить во время планово-предупредительного ремонта не реже одного раза в год. После заливки масла производят обкатку редуктора в течение 15 мин.

При осмотре редуктора необходимо обращать внимание на износ зубьев, передачи, измерять величину износа и проверять целостность поверхности зубьев шестерен. При заметном износе зубьев в электрических исполнительных механизмах МЭО имеется возможность повернуть червячное колесо на 90°. В результате этого изношенная четверть зубчатого венца заменяется неизношенной и редуктор может продолжать нормально работать. Прежнее положение рычага сохраняется благодаря дополнительным шпоночным пазам в ступице рычага.

При монтаже редуктора после планово-предупредительного ремонта необходимо сохранить правильное положение червячных колес относительно червяков. Это положение устанавливается на заводе при помощи регулирующего винта, гайки и прокладок.

Поверхности соединения отдельных частей корпуса сервопривода РВ уплотнены жидким стеклом, поэтому при осмотре сервопривода застывшее стекло следует удалить. При сборке поверхности соединения покрыть снова уплотняющей жидкостью — жидким стеклом или шеллаком.

Перед пуском механизма в эксплуатацию необходимо до включения электродвигателя проверить червячную передачу редуктора, повернув его несколько раз от руки. Если во время работы серводвигатель перегревается, нужно проверить уровень масла в корпусе редуктора, правильность установки серводвигателя и величину осевого люфта. Осевой люфт валов должен быть в пределах 0,05—0,15 мм.

Наружную поверхность сервопривода следует периодически очищать от пыли и масла.

В случае появления во время эксплуатации чрезмерного нагрева или шума сервопривод необходимо остановить и произвести внеочередной осмотр.

Перед монтажом мембранного исполнительного механизма на регулирующем клапане следует проверить соответствие его технической характеристики проектным требованиям. После установки

при работе без позиционера он должен быть отрегулирован так, чтобы начало хода было при давлении воздуха $0,2 \text{ кгс/см}^2$. Настройка начала хода исполнительного механизма производится регулировкой предварительного натяга его пружины. При работе механизма с позиционером начало хода и его величина определяются настройкой последнего.

Позиционеры по ГОСТ 10625—70 выпускаются настроенными на ход штока 25 мм. На пружине обратной связи и регулирующей гайке наносятся отметки настройки позиционера. Увеличение хода, кратное 25 мм, обеспечивается за счет отверстий на рычаге обратной связи.

В тех случаях, когда позиционер устанавливается на мембранный исполнительный механизм с ходом штока, не кратным 25 мм, перед монтажом необходимо произвести переналадку. Настройка хода позиционера производится изменением числа рабочих витков пружины обратной связи с помощью регулировочной гайки 9 (см. рис. 124).

Работа пневматического исполнительного механизма контролируется по показаниям манометров позиционера и по положению указателя перемещения исполнительного механизма. Расположение мембранного механизма должно облегчать его обслуживание и ремонт. Целесообразнее его устанавливать так, чтобы мембранная головка была расположена сверху. Допускается установка механизма и в других положениях.

В пневматической линии, соединяющей прибор с позиционером, должна быть обеспечена герметичность.

Сжатый воздух для управления исполнительным механизмом должен быть очищенным и осушенным с точкой росы на 10°C ниже температуры окружающего воздуха.

Поворотные регулирующие заслонки с приводом от электрического исполнительного механизма могут монтироваться как на горизонтальном, так и на вертикальном участке технологического трубопровода.

Прямые участки трубопровода до регулирующей заслонки и после нее должны иметь длину не менее пяти диаметров условного прохода заслонки. Это требование вызвано тем, что местные сопротивления в виде углов, задвижек, уступов, переходов и т. д., расположенных к заслонке ближе этого расстояния, вызывают завихрения струй потока и искажают расходные характеристики заслонки.

При выборе места установки заслонки должна быть предусмотрена возможность разборки, сборки и настройки ее регулирующего органа и исполнительного механизма, а также удобство пользования ручным приводом.

В процессе работы регулирующей заслонки нужно систематически смазывать подшипники скольжения и сальниковое уплотнение, а также оси шарнирного соединения, протирать грязь и не допускать ее скопления на поверхности всех узлов регулирующей заслонки.

Контрольные вопросы

1. Что такое сервопривод?
2. Что такое регулирующий орган?
3. Для чего служат конечные выключатели в исполнительном механизме?
4. Какую роль выполняет блокинг-генератор в схеме бесконтактного пуска?
5. Чем отличается клапан «Воздух закрывает» от клапана «Воздух открывает»?
6. Чем отличается прямолинейная характеристика от равнопроцентной?
7. Как может влиять вид сочленения на характеристику регулирующей заслонки?
8. Какую роль выполняют направляющие аппараты тягодутьевых машин?

Глава XII

ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И АВТОМАТИКИ

§ 56. Диспетчерский щит

Для управления автоматизированным технологическим процессом создаются специальные диспетчерские пункты. В помещении диспетчерского пункта устанавливаются диспетчерские щиты и пульты. Щит представляет собой металлоконструкцию, на панелях которой размещены вторичные приборы и аппаратура управления и сигнализации.

По конструктивному оформлению щиты делятся на панельные и шкафные, на полногабаритные и малогабаритные.

Панельные щиты, как правило, устанавливают в специальном помещении — диспетчерском пункте. Аппаратура, устанавливаемая на панелях, незащищена от воздействия пыли и сырости, поэтому помещение щита должно быть достаточно сухим, хорошо вентилируемым и воздух не должен содержать механических и химических примесей. Если электрические оголенные контакты аппаратов, помещаемых на открытых панелях, не защищены от прикосновения, то по Правилам устройств электроустановок такие щиты могут устанавливаться только в особых помещениях, в которые допускается специально обученный персонал.

В шкафных щитах оголенные контакты аппаратов защищены от случайного прикосновения, поэтому шкафные щиты могут устанавливаться непосредственно в машинных залах и производственных помещениях. Аппаратура, помещенная в шкафах, меньше подвержена воздействию окружающей среды. Однако шкаф не может полностью защитить приборы, поэтому в особо пыльных помещениях необходимо применять специальные меры для уплотнения шкафов. Такой мерой может являться поддув шкафа, т. е. подача внутрь шкафа чистого воздуха под небольшим избыточным давлением. (10 мм вод. ст.— 98 Па).

Надо помнить, что шкафы не защищают приборы от взрывоопасной среды и не являются мерой, уменьшающей взрывоопасность.

Пульты управления выпускаются приставными к панелям и отдельно стоящими. Выбор того или иного вида исполнения пульта зависит от условий управления технологическим процессом. В случае если щит управления небольшой, к нему может быть приставлен пульт. В случае широкого фронта щита управления диспетчер, находящийся вблизи центра щита, не увидит фасадов приборов, находящихся на крайних панелях. В этом случае пульт, за которым сидит диспетчер, проектируют отдельно стоящим и размещают в некотором отдалении от щита.

Щит в диспетчерском помещении не обязательно должен располагаться в одну нитку. В случае очень широкого фронта щит может быть расположен в виде буквы П или полукругом. При такой форме расположения панели щита могут устанавливаться под углом друг к другу. Для сочетания панелей в таком исполнении щита заводами выпускаются угловые вставки.

Для того чтобы организовать закрытое пространство за щитом, используются горцевые панели и двери, которые устанавливаются между стеной и торцом крайней панели щита.

Щиты и пульта автоматизации технологических процессов изготавливаются и поставляются предприятиями по рабочей документации заказчика.

В соответствии с ССТ 36.13—76 щит (пульт) поставляется в законченном для монтажа виде и состоит из:

- корпуса или каркаса щита (пульта);
- конструкции для установки и крепления приборов аппаратуры и подводимых к щитам (пультам) кабелей и труб;
- внутренней электрической и трубной проводок, соответствующих монтажной схеме;
- комплектующей аппаратуры и установочных изделий;
- крепёжных изделий для сборки и монтажа (установки) щита или пульта на объекте.

В комплект поставки щитов и пультов не входят приборы и регуляторы.

§ 57. Конструкция каркасных щитов

В состав типовых элементов каркасных панельных и шкафов щитов входят каркасы, опорные рамы, элементы панельного типа и поворотные рамы. Последние устанавливают только в панельных щитах. Малогабаритные шкафы выполняют в виде сварных конструкций.

Каркасная конструкция щитов позволяет при изготовлении на заводах-изготовителях применить единую последовательность сборки элементов щитов, предусматривающую монтаж аппаратуры и проводок на частично собранном каркасе с последующей доработкой его. Завершающей операцией сборки является установка эле-

ментов панельного типа (стенок, крышек, дверей). Щиты и их элементы можно окрашивать в различные цвета в зависимости от заказа.

Основной несущей металлоконструкцией панелей с каркасом и шкафов является каркас (рис. 130, 131). Он состоит из четырех стоек 1, соединенных при помощи болтовых соединений М10

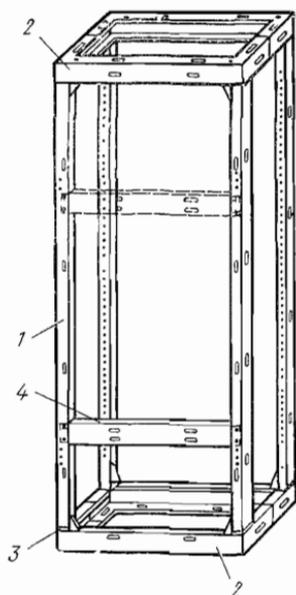


Рис. 130. Объемный каркас:
1 — стойка, 2 — рама, 3 — прокладка, 4 — швеллер

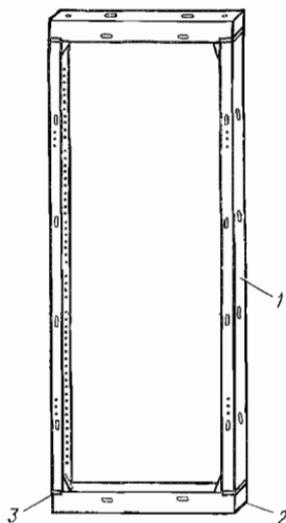


Рис. 131. Плоский каркас:
1 — стойка, 2 — рама, 3 — прокладка

с верхней и нижней рамами 2. В местах соприкосновения рам и стоек установлены прокладки 3, выполненные из термопластичного материала, закрывающие щели в местах стыка и выполняющие роль амортизаторов. С передней стороны каркаса между стойками устанавливаются один или два (в зависимости от исполнения) швеллера 4, образующие перемычку для крепления фасадных панелей. Детали каркаса изготовлены из стального листового материала толщиной 2,5 мм.

Стойки (см. рис. 130) выполнены в виде швеллера с приваренными по краям кронштейнами. В торцевой части кронштейнов имеются отверстия для крепления стоек к рамам. В полках стоек выполнен ряд круглых и овальных отверстий, в том числе на лицевой полке — отверстия для крепления к каркасу фасадных панелей, дверных блоков, швеллеров 4 и поворотных рам. На задней (внутренней) полке стойки выполнено 68 отверстий диаметром 6,6 мм

с шагом 25 мм для крепления унифицированных элементов и для внутреннего монтажа аппаратуры и проводок. На стенке стойки имеются отверстия для крепления к каркасу боковых стоек, а так-

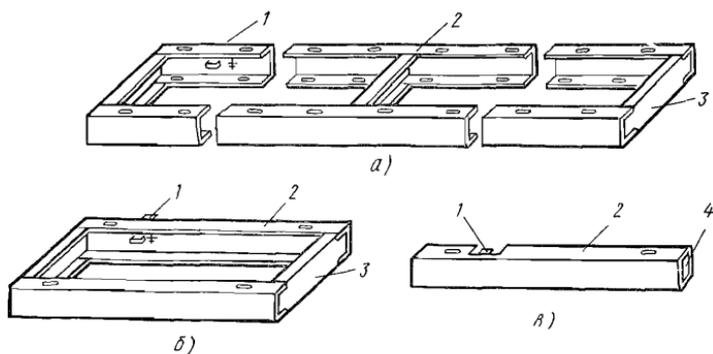


Рис. 132. Опорные рамы:

а — многосекционная, *б* — одиночная, *в* — плоская; 1 — скоба, 2, 3 — продольный и поперечный швеллеры, 4 — лист

же соединения каркасов между собой в многосекционных конструкциях. Рама 2 сварена из двух П-образных элементов швеллерного типа. В ней выполнен ряд круглых и овальных отверстий для крепления стоек и деталей панельного типа, а также для крепления каркаса к опорной раме и установки рым-болтов.

Плоский каркас (см. рис. 131) состоит из двух стоек 1, скрепленных при помощи болтовых соединений с двумя рамами 2, представляющими собой элементы швеллерного типа. Опорные рамы, изображенные на рис. 132, предназначены для установки на них каркасов одно-, двух- и трехсекционных щитовых конструкций. Опорная рама для одиночной (рис. 132, б), или двух- и трехсекционной конструкции (рис. 132, а) представляет собой сварную (из продольных и поперечных швеллеров 1, 2), сборочную единицу. Для крепления каркасов к опорной раме, а за-

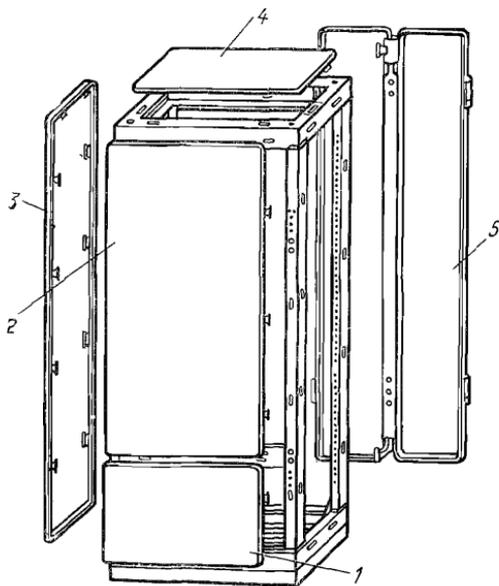


Рис. 133. Элементы панельного типа:

1, 2 — панели, 3 — стенка, 4 — крышка, 5 — дверь

тем в целом щитов к фундаментным конструкциям на полках продольных швеллеров выполнены овалы отверстия.

На рис. 133 изображены элементы панельного типа, которые могут быть установлены в щитовых конструкциях различного вида. Установка их в разных сочетаниях на каркасе позволяет осуществить построение различных модификаций щитовых конструкций.

К числу элементов панельного типа относятся:

а) панель 1 — устанавливается с лицевой стороны щитовых конструкций и выполняет защитные и декоративные функции;

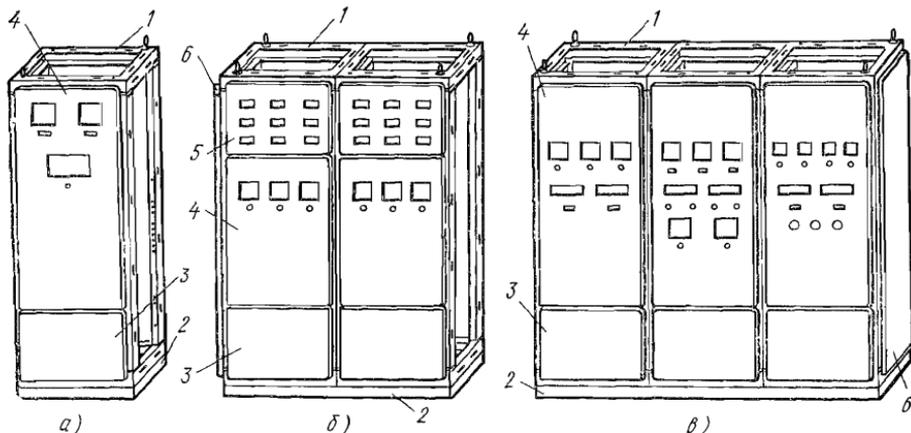


Рис. 134. Панели с каркасом:

а — исполнение I, б — двухсекционная, закрытая слева, исполнение II, в — трехсекционная, закрытая справа, исполнение I; 1, 5 — крышки, 2 — опорная рама, 3, 4 — фасадные панели, 6 — боковая стенка

б) панель 2 — устанавливается с лицевой стороны щитовых конструкций, служит для установки и крепления приборов и аппаратуры;

в) крышка 4 — устанавливается сверху и выполняет защитные функции;

г) двери 5 — устанавливаются с задней стороны или с задней и передней сторон и выполняют защитные функции;

д) стенки 3 — устанавливаются с боковых сторон и выполняют защитные функции.

Элементы панельного типа представляют собой прямоугольные коробчатые детали, изготавливаемые из листовой стали в диапазоне толщин от 1,2 до 1,5 мм для защитных и 2,5 мм для несущих элементов.

На рис. 134 изображены панели с каркасом в составе одно-, двух- и трехсекционной конструкций. Панели с каркасом образуются путем сборки при помощи болтовых соединений одного, двух и трех унифицированных каркасов с одиночной или групповой опорной рамой 2, установки фасадных панелей 3, 4 и в некоторых случаях боковых стенок 6.

Панели с каркасом используют в качестве металлоконструкций для одно-, двух- и трехсекционных панельных щитов с каркасом I, II исполнения (с двумя или тремя фасадными панелями), имеющих различную степень защиты боковых сторон (без боковых стенок, с правой боковой стенкой, с левой боковой стенкой). Указанные разновидности панельных щитов с каркасом позволяют осуществить построение диспетчерских и операторских пунктов из готовых щитовых секций.

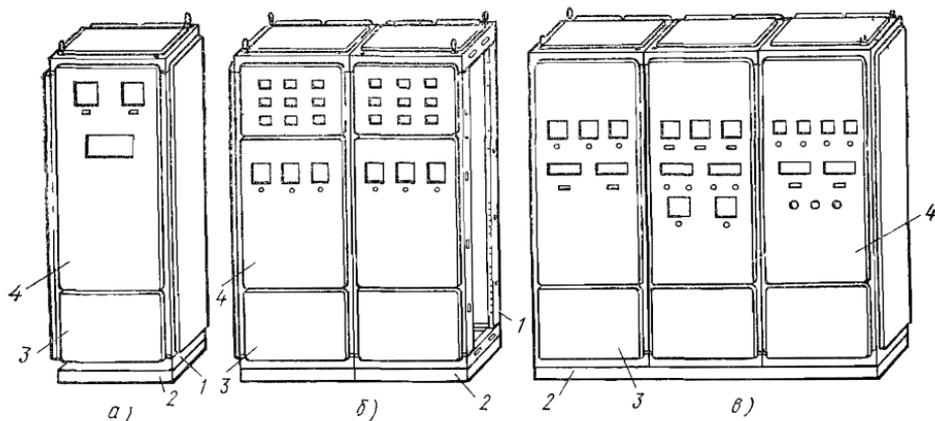


Рис. 135 Шкафы:

а — исполнение I, *б* — двухсекционный, исполнение II, *в* — трехсекционный, исполнение I;
 1 — каркас, 2 — опорная рама, 3, 4 — фасадные панели

На рис. 135 изображены шкафы в составе одно-, двух- и трехсекционной конструкций, используемые в качестве металлоконструкций для одно-, двух- и трехсекционных шкафов щитов с задней дверью.

Шкафы образуются путем сборки при помощи болтовых соединений одного, двух или трех унифицированных каркасов 1 с одиночной или групповой опорной рамой 2, установки фасадных панелей 3, 4, стенок и дверей, устанавливаемых с задней стороны для шкафа с задней дверью и с передней и задней сторон для шкафов с передней и задней дверью.

Шкафы с задней дверью I исполнения имеют две фасадные панели, II исполнения — три фасадные панели.

В зависимости от характера защиты боковых сторон шкафы могут иметь одну стенку или не иметь совсем боковых стенок.

На рис. 136 изображена поворотная рама, устанавливаемая в панелях с каркасом. Поворотная рама представляет собой сварную конструкцию, выполненную из продольных и поперечных уголков 1, 2. На продольных уголках 1 имеется ряд отверстий диаметром 6,6 мм с шагом 25 мм, предназначенных для крепления деталей внутрищитового монтажа. Крепление поворотной рамы к каркасу осуществляется через переходные уголки 3, 4, на которых с левой стороны вставлены оси 5, а с правой — болты крепления 6.

Для компоновки многопанельного каркасного щита служат дополнительно элементы, правые и левые торцевые панели. Панели устанавливают в торце щита. Вместе с вспомогательной панелью, имеющей дверь, они образуют вход в защитное пространство. Угловые вставки помогают разместить щит с изломом в плане под разными углами. Два смежных каркасных щита могут быть сочленены с помощью этих вставок под углом 45, 30 и 15°.

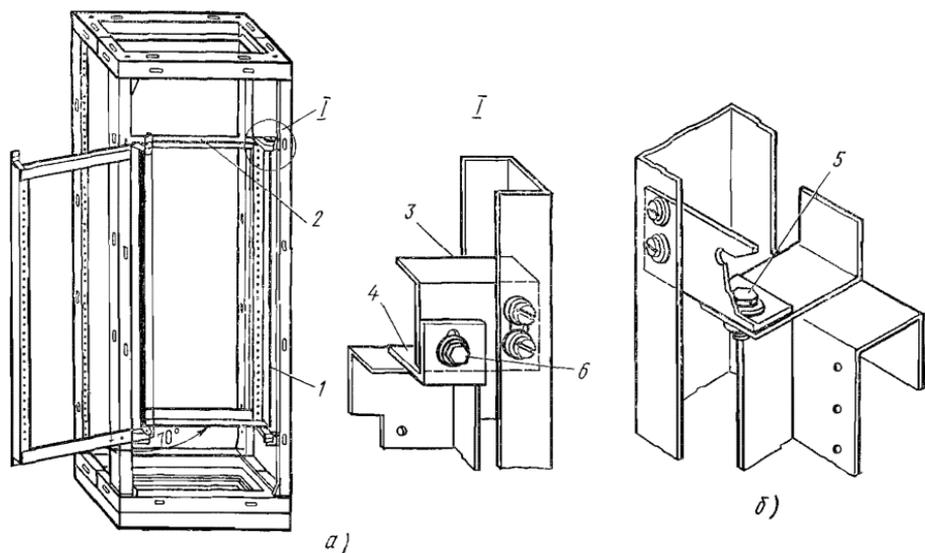


Рис. 136. Установка поворотной рамы на панели с каркасом:

a — общий вид, *б* — узел крепления поворотной рамы к каркасу; 1 — продольные уголки; 2 — поперечные уголки, 3, 4 — переходные уголки, 5 — ось, 6 — болт

При размещении аппаратуры и приборов не вся площадь приборных панелей, рам каркаса и поворотных рам может быть использована полностью. Существующие нормативы на допустимые расстояния между приборами и краем конструкции ограничивают полезную площадь размещения. Например, при ширине фронта панели 600 и 1200 мм ширина полезной площади составляет соответственно только 510 и 1110 мм, т. е. для размещения аппаратуры от края панели необходимо отступить на 45 мм. Такие же ограничения существуют и для поворотной рамы.

При размещении приборов на щите необходимо учитывать проекцию приборов на боковые стенки щита. Это значит, что прибор, размещаемый на одной из граней щита, занимает место не только на этой грани, но, имея определенную глубину, может занимать место и на близлежащей боковой стенке, если он достаточно близко к ней размещен.

Общая нагрузка на поворотную раму должна быть не более 40 кг.

Над щитом может быть смонтирована декоративная панель, представляющая собой металлический лист высотой 800 мм, устанавливаемый вертикально по всей длине фронта щита. На декоративной панели можно нанести мнемосхему автоматизируемого процесса.

Расположение аппаратуры по высоте, на фасаде и внутри щита диктуется удобством ее обслуживания. Рекомендуется устанавливать в каркасных щитах аппаратуру на следующих расстояниях от основания щита:

трансформаторы и источники питания малой мощности — 1700—2000 мм;

панели с выключателями, предохранителями, автоматами — 700—1700 мм;

реле — 600—1900 мм;

аппаратура пневмопитания — 300—700 мм;

нижний край сборок коммутационных зажимов — 350 мм, верхний край сборки — 1900 мм.

Каркасные щиты монтируют на двух швеллерах, установленных узкой полкой на строительное перекрытие и крепящихся к нему с помощью анкерных болтов. Корыта швеллеров обращены внутрь щита навстречу друг другу.

Расстояние между швеллерами по высокой полке 500 мм, что соответствует крепежным отверстиям в нижней раме щита в 440 мм.

Швеллеры примерно наполовину заливают бетоном, образующим подготовку пола щитового помещения. Сверху бетонной подготовки укладывают чистый пол из деревянных плит, паркета или линолеума.

В отдельных случаях допускается устанавливать каркасные щиты на чистый пол с анкерным креплением.

Стыковка каркасных щитов осуществляется болтовыми соединениями; на прямых участках фронта щита с креплением между собой смежных боковых рам каркасов и приборных панелей; в местах поворотов с креплением смежных панелей через угловые вставки или без них.

Установка вспомогательных панелей, так же как и основного каркаса, осуществляется на швеллер. Крепление вспомогательных панелей друг с другом и с торцевыми панелями осуществляется болтовыми соединениями.

Торцевая панель устанавливается с креплением болтовыми соединениями к боковой раме блока или секции.

Трассы трубных и электрических проводов в щитовом помещении рекомендуется разбивать на два потока: измерительные линии на уровне верхней части щита, линии питания, управления и сигнализации на уровне нижней части щита.

На рис. 137 показаны различные способы прокладки электрических кабелей и вводов их в каркасные щиты.

На рис. 137, а за щитом на отрезках швеллеров устроен настил из досок или рифленой стали. Кабель выходит из щита и прокла-

дывается под настилом. Такой способ применяется в том случае, если невозможно организовать кабельные каналы в помещении диспетчерской и нельзя использовать нижележащие помещения для прокладки кабеля по потолку.

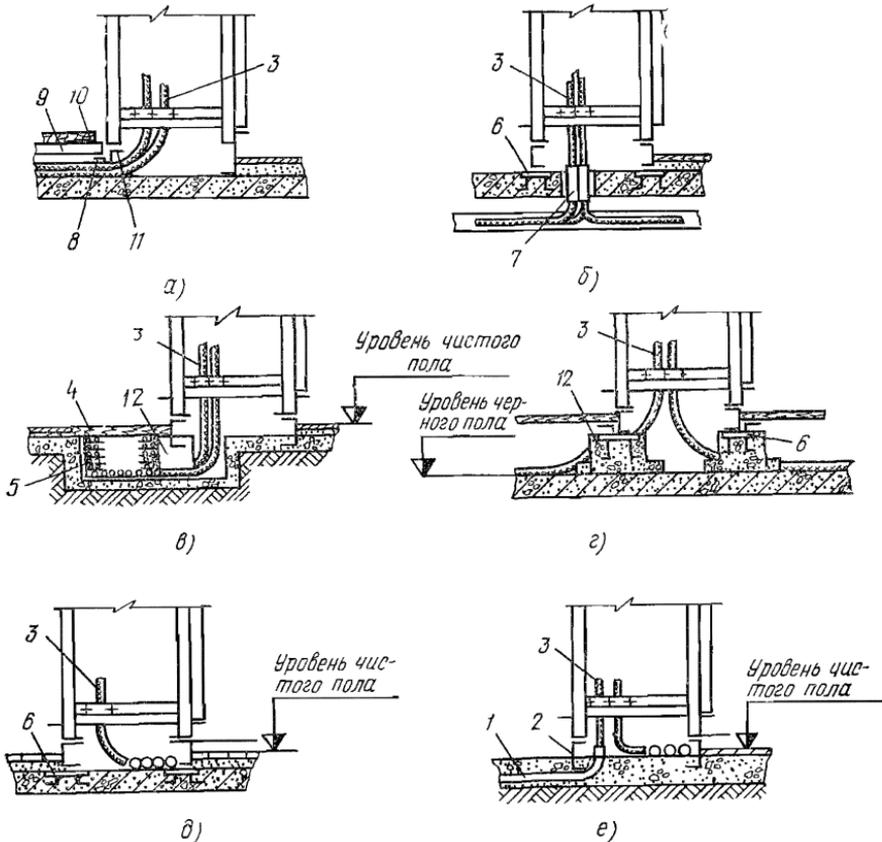


Рис. 137. Способы прокладки электрических кабелей и ввод их в каркасные щиты:

1 — защитная труба, 2 — опорный швеллер, 3 — электрический кабель, 4 — настил канала, 5 — кабельный канал, 6 — закладная пластина с анкерами, 7 — гильзы для ввода электрокабелей, 8 — швеллер, 9 — швеллер настила, 10 — настил, 11 — уголок, 12 — бетонный столбик

На рис. 137, б показан способ, использующийся при большом потоке кабелей и когда есть возможность использовать ниже расположенное помещение. В этом случае кабель в нижнем помещении прокладывается на лотках и организуется индивидуальный ввод кабеля в щит. Каждый кабель заключается в гильзу, изготовленную из трубы, отверстие ввода уплотняется с тем, чтобы воздух и шум нижнего помещения не попадал в диспетчерскую, а также для того, чтобы из помещения диспетчерской при работах в щите мусор не попадал в нижнее помещение.

На рис. 137, в показан наиболее распространенный и удобный способ прокладки и ввода кабеля. Этот способ применяется при больших кабельных потоках и расположении диспетчерской на первом этаже. За щитом организуется кабельный канал, который соединяется с пространством внутри каркаса щита. Канал перекрывается плитами чистого пола, на стенах бетонного канала укрепляются кабельные полки в виде кронштейнов. На полки укладывается кабель и по дну канала вводится в щит.

В больших диспетчерских со сложной конфигурацией щита, со многими отдельно стоящими панелями, шкафами и пультами, между которыми большие кабельные связи, делается двойной пол, как показано на рис. 137, г. Щит устанавливается на отдельные бетонные столбики, не мешающие общему проходу кабелей. В этом случае кабели между панелями и щитами прокладываются по кратчайшему расстоянию в любых направлениях помещения.

Если количество кабеля невелико, он прокладывается внутри каркаса (рис. 137, д). Выход кабеля из щита делается в трубах, укладываемых в подготовку пола (рис. 137, е). Наконец, если количество кабеля невелико, кабель ведется в защитных коробах и лотках, прокладываемых по верхней раме каркасного щита.

Ввод проводов в щит осуществляется через доску зажимов. Контрольный кабель, идущий от первичных приборов или с другого щита, вводится в щит и конец его разделяется. С кабеля снимается наружный покров и кабельная изоляция, а жилы кабеля разводятся на отдельные провода.

Для того чтобы в кабель не попала влага, для изоляции жил кабеля и проводов между собой и металлическими частями щита, а также для надежного присоединения жил кабелей и проводов к зажимам на конце кабеля делается концевая заделка. Концевые заделки могут быть сухими, в металлических или пластмассовых воронках и эпоксидными. При эпоксидной заделке концы жил в месте выхода их из кабеля заливают специальной изоляционной массой, которая, после того как застынет, образует монолит, надежно защищающий конец кабеля. Эти виды заделок применяют в помещениях с высокой влажностью воздуха или в помещениях, где атмосфера насыщена парами щелочей, кислот или другими агрессивными газами.

В обычных помещениях, как правило, применяют сухие заделки.

На рис. 138 показана конструкция сухой концевой заделки, выполненная с защитой изоляции жил найритовым лаком и с применением поливинилхлоридных трубок.

С конца кабеля снимают наружный покров 1, отрезают броню 3, разделяют и отрезают оболочку кабеля 5, жилы кабеля 9, разводят и покрывают найритовым лаком или на них одевают поливинилхлоридные трубки. Пространство между жилами заполняют изоляционным лаком.

Место выхода жил из кабеля обматывают прорезиненной тканью 7 и закрепляют бандажом из скрученных ниток. Поверх ткани делается бандаж из шпагата 8. Броня кабеля закрепляется

бандажом из бронеленты 4 и 2. Сверху место разделки обматывают поливинилхлоридной лентой 6 и заделку покрывают изоляционным лаком. Заделку прикрепляют к металлическим частям щита, а разделанные жилы заводят в щит через доску зажимов.

Проводки, требующие экранирования, например проводки к емкостным уровнемерам, проводятся специальными проводами и могут проходить мимо доски зажимов.

В ряде случаев, когда ток прибора чрезвычайно мал и исчисляется единицами миллиампер или микроамперами, лишнее сопротивление контактов зажимов может вносить дополнительные погрешности. В этих случаях желательнее пройти кабелем или проводами тоже мимо доски зажимов непосредственно на прибор.

К таким же проводкам относятся соединительные линии от термоэлектрических термометров к приборам с автоматической компенсацией влияния температуры свободных концов термопар, которые прокладываются компенсационными проводами.

Для обеспечения безопасности эксплуатации щита с напряжением выше 250 В необходимо предусматривать меры безопасности. Провода и зажимы, имеющие напряжение выше 250 В, должны быть отделены от общей коммутации щита и на щите в местах прохода этих проводов должны быть сделаны соответствующие надписи.

Вводы кабелей в щиты, как правило, выполняются снизу. Конструкция щитов, аппаратов и приборов предусматривает как раз такую подводку проводов. Однако в некоторых случаях возможны подводы и сверху. В этих случаях надо соблюдать радиусы изгиба кабелей и проводов. Радиус изгиба кабеля зависит от вида кабеля и для кабелей с резиновой и пластмассовой изоляцией без брони составляет не менее 6 диаметров, измеренных по наружному покрову, а для кабелей с броней — не менее 10 диаметров. Радиусы изгиба провода должны быть не менее трех его наружных диаметров.

При подсоединении кабельных жил к зажимам жилы должны группироваться по принадлежности к цепям управления агрегатов:

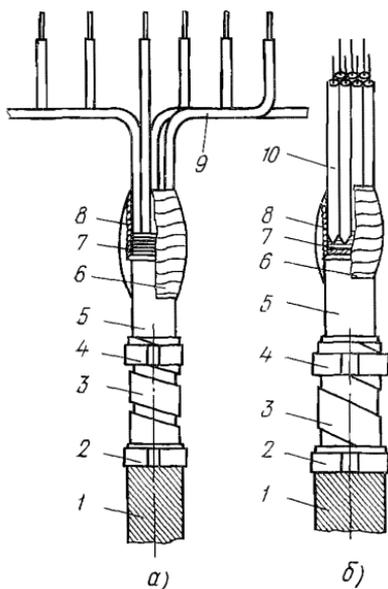


Рис. 138. Сухие концевые заделки:

а — с защитной резиновой изоляцией жил найритовым лаком, б — с применением поливинилхлоридных трубок, 1 — наружный покров, 2, 4 — бандаж из бронеленты или стальной оцинкованной проволоки, 3 — броня, 5 — оболочка, 6 — обмотка поливинилхлоридной лентой, 7 — обмотка из прорезиненной ткани, закрепленная бандажом из крученых ниток, 8 — бандаж из шпагата, 9 — жилы в резиновой изоляции, защищенная найритовым лаком, 10 — поливинилхлоридная трубка

должны создаваться группы зажимов измерения, регулирования, управления, сигнализации и т. д. Группы зажимов одного признака необходимо отделять от других групп с помощью маркировочных колодок.

Очень важно оставлять резервные зажимы. В каждой группе зажимов в 6—10 шт. необходимо предусматривать минимум по одному резервному зажиму. Резервные зажимы позволяют подключать дополнительные жилы и делать необходимым присоединения при изменениях в монтаже аппаратуры щита.

Соединение аппаратов и приборов на щите производится медными проводниками сечением от 0,75 до 1,5 мм². При прокладке проводов в трубах их сечение должно быть не менее 1,5 мм².

Провода, прокладываемые по щиту, собирают в жгуты или пакеты. В жгут или пакет собираются провода одинакового сечения и идущие в одном направлении. В один пакет укладывается не более 24 проводов.

Рекомендуемые расстояния: 10 мм между пакетами и 15 мм между пакетом, приборами и крепежными деталями.

Провода до 1 мм в диаметре могут быть проложены по металлическим панелям открытым способом. Провода, находящиеся под напряжением 110 В и выше, по отношению к земле должны прокладываться по прокладкам из полос пресшпана, лакоткани или другого изоляционного материала.

§ 58. Защита котельных агрегатов

Организация диспетчерского пункта и централизованное управление котельной требуют создания системы защиты котельного агрегата. Задачей защиты является своевременное предупреждение диспетчера о возникших неполадках в работе котла или вспомогательного оборудования теплового агрегата и производство соответствующих отключений, ликвидирующих возможную аварию или предупреждающих нежелательные последствия возникших неисправностей.

Для создания надежной системы защиты на тепловом агрегате устанавливается целый ряд специальных преобразователей, контролируемых номинальные значения параметров. Часто вместо установки специальных преобразователей могут быть использованы контрольно-измерительные приборы технологического оснащения котла. Встроенные в эти приборы контактные электрические устройства позволяют подавать сигналы и команды при выходе контролируемого параметра за предельно допустимые значения.

Защиты могут действовать на полное отключение (рис. 139) котельного агрегата, на снижение нагрузки котлоагрегата, на местные переключения, позволяющие ввести резерв и произвести какие-то дополнительные включения.

К защитами, действующим на отключение барабанного котла, относится защита от понижения уровня в барабане котла, снижение температуры пара на выходе из котла, погасание факела в

топке, останов обоих дымососов или обоих дутьевых вентиляторов и перепитка котла водой выше второго предельного уровня.

При аварийном снижении уровня в барабане котла вследствие нарушения циркуляции воды возможен пережог экранных труб.

Повышение уровня в барабане приводит к забросу воды в пароперегреватель.

Подача топлива в топку при погасшем факеле может привести к взрыву. При останове обоих дымососов исчезает разрежение в топке, при останове обоих вентиляторов в топку перестает подаваться воздух. Значительное снижение температуры перегретого пара представляет опасность для турбины.

В газомазутных котлах опасным является снижение давления топлива перед горелками, так как снижение давления газа может привести к затягиванию факела в амбразуру горелки и ее обгоранию. Временное прекращение подачи газа может привести к образованию в топке взрывоопасной смеси. При понижении давления мазута распыливание мазута ухудшается и он может накапливаться в нижней части топки, что может привести к взрыву.

Все это тяжелые аварии, поэтому при срабатывании соответствующих преобразователей схема защиты действует на устройства, останавливающие и отключающие котлы.

Повышение давления или температуры пара на выходе котла опасно, так как может снизить

Авария Следствие Следствие Дефект

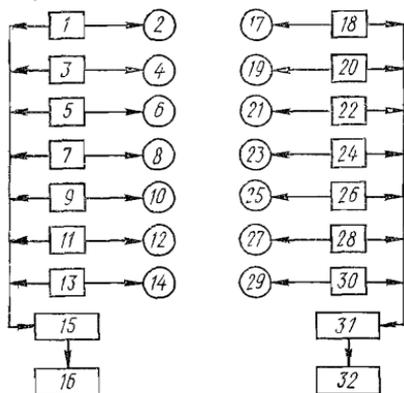


Рис. 139. Пример структурной схемы защиты котельного агрегата

1 — понижение уровня в барабане котла, 2 — пережог экранных труб, 3 — снижение температуры пара, 4 — потери оборотов турбины, 5 — погасание факела, 6 — взрыв, 7 — останов всех вентиляторов, 8 — отсутствие воздуха в топке, 9 — останов всех дымососов, 10 — отсутствие разрежения в топке, 11 — перепитка котла водой до второго аварийного уровня, 12 — заброс воды в пароперегреватель, 13 — снижение давления топлива у форсунок, 14 — затягивание факела, образование взрывной смеси, 15 — аварийная сигнализация, 16 — отключение котла, 17, 19 — снижение прочности трубопроводов, 18 — повышение давления пара, 20 — повышение температуры пара, 21 — понижение разрежения, 22 — отключение одного дымососа, 23 — снижение избытка воздуха в топке, 24 — отключение одного вентилятора, 25 — опасность аварийной перепитки, 26 — перепитка котла водой до первого аварийного уровня, 27 — неустойчивое горение, 28 — потускнение факела в топке, 29 — понижение уровня в барабане котла, 30 — отключение одного подпиточного насоса, 31 — предупредительная сигнализация, 32 — переключение для ликвидации дефекта

прочность трубопроводов, поэтому защита от перегрева пара и превышения его давления производит переключения, снижающие нагрузку котла. При выходе из строя одного из двух дымососов или вентиляторов также не требуется останова котла, так как котел может продолжать работать с пониженной нагрузкой.

К числу защит, выполняющих местные переключения, относятся защиты от перепитки котла до первой аварийной отметки, защиты предохранительными клапанами от повышения давления па-

ра и потускнения пламени в топке пылеугольных котлов, приводящие к неустойчивому горению.

В случае перепитки котла и повышения уровня в барабане до первого предела защитой открываются задвижки, установленные на трубопроводе аварийного слива. При потускнении факела в топке пылеугольного котла автомат защиты котла включает мазутные форсунки.

Существенной частью схемы действия защит является сигнализация на щите диспетчера. Сигнализация делится на предупредительную и аварийную.

Назначение предупредительной сигнализации привлечь внимание диспетчера к нарушению режима работы котельного агрегата. Приняв предупредительный сигнал, диспетчер наблюдает за действием защиты и контролирует процесс по показаниям приборов, принимая меры для предотвращения аварии. В сигналы предупредительной сигнализации могут быть включены такие отклонения, как отключение одного дымососа или вентилятора, превышение уровня до первого предела в барабане котла и т. д.

Сигналы аварийной сигнализации ставят в известность диспетчера о происшедшей аварии и причинах ее возникновения.

Так как при аварийном отключении котла по сигналу одного из аварийных преобразователей могут сработать другие преобразователи, задачей схемы защиты и сигнализации является сохранение сигнала, из-за которого произошла авария, и реагирование на сигналы, которые возникают как следствие аварии.

Схема сигнализации щита диспетчера охватывает все котельные агрегаты и все вспомогательное оборудование, поэтому после приема сигнала с одного агрегата и квитирования его диспетчером схема должна принимать сигналы, которые могут прийти при возникновении новой аварии. Поясним это на примере. Предположим, что на первом котле отключился один дымосос и включился резервный агрегат. На щите диспетчера загорится сигнал и загудит гудок. Диспетчер квитует сигнал, т. е. гасит гудок, и, если схема световой сигнализации предусматривает загорание лампочки мигающим светом, переводит мигающую лампу на ровный свет. Пусть после этого через некоторое время на втором котле повысится уровень в барабане котла. Несмотря на то что диспетчер нажимал на кнопку гашения гудка и кнопку ровного света, на щите вновь должны загудеть гудок и замигать лампочка новой аварии.

§ 59. Организация обслуживания контрольно-измерительных приборов и автоматики

Безотказная работа приборов контроля и автоматики обеспечивается службой эксплуатации контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА).

Служба эксплуатации в зависимости от насыщенности контрольно-измерительной аппаратуры технологического процесса может быть представлена группой или цехом КИПиА.

Цех КИП осуществляет на производстве следующие функции: контроль правильности хранения приборов на складе, получение приборов со склада и установку их взамен снимаемых для текущего ремонта;

периодическую проверку и ремонт приборов, а также своевременное представление приборов на госпроверку;

текущее обслуживание приборов (смена диаграмм, смазка на месте, заправка чернилами и т. д.);

разработку инструкции по пользованию приборами, составление заявок на новые приборы и запчасти, паспортизацию средств автоматизации, обучение операторов и диспетчеров приемам чтения показаний приборов.

Для осуществления правильной эксплуатации приборов при цехе КИПиА организуется группа эксплуатации, которая обеспечивает надлежащее состояние и работоспособность приборов КИПиА.

Группа эксплуатации должна обеспечивать круглосуточное дежурство дежурных слесарей по эксплуатации приборов.

Для правильной и хорошей работоспособности такой группы она должна быть оснащена соответствующим оборудованием.

Рабочее место группы должно быть обеспечено небольшими станками, позволяющими вести ремонт контрольно-измерительных приборов. К таким станкам может быть отнесен настольно-сверлильный одношпиндельный станок НС-12А, настольно-токарный станок 1600 В. Эти станки позволяют обрабатывать мелкие и средние детали, входящие в комплект большинства приборов КИП.

Крупные цеха КИПиА могут быть оснащены установкой для поверки вторичных приборов УВПТ-2АМ, выпускаемой Фрунзенским заводом КИП. Установка УВПТ-2АМ предназначена для поверки и настройки измерительных, регулирующих и регистрирующих приборов теплоэнергетического контроля.

Установка позволяет поверять:

вторичные приборы, работающие с теплоэнергетическими преобразователями;

позиционные и пропорциональные регулирующие устройства;

электронные усилители постоянного и переменного тока;

регулировать вибропреобразователи;

источники стабилизированного питания для электронных мостов и потенциометров;

приборы, работающие в комплекте с дифференциально-трансформаторными индукционными преобразователями.

Масса установки 150 кг.

Для небольших цехов КИП подходит малогабаритная переносная установка ИПУ-01М того же завода.

Эта установка выполняет те же функции, что УВПТ-2АМ, однако производительность работ на установке ИПУ-01М меньше. Масса установки 7 кг.

Для наблюдения за характеристиками электрических процессов в электронных узлах аппаратуры применяется осциллограф Н313

Краснодарского завода ЗИП. Осциллограф позволяет измерять временные интервалы и амплитуды переменного и величины постоянного напряжения. Класс точности прибора 4. Масса 3,2 кг.

Эксплуатационный персонал должен быть обеспечен инструментом для выполнения всех видов ремонтных и регулировочных работ. К числу основного инструмента относятся гаечные ключи, отвертки, комбинированные плоскогубцы, круглогубцы, напильники, надфили, молотки, пинцеты, паяльники и т. д.

Для контроля за правильностью показаний и работы приборов они подвергаются периодической поверке. Поверке должны также подвергаться приборы после ремонта. *Поверкой* называется совокупность операций, проводимых с целью установления соответствия характеристик проверяемого рабочего прибора ГОСТам или техническим условиям завода-изготовителя.

Организация и проведение поверки мер и измерительных приборов и контроль состояния измерительной техники определяются специальными правилами Госстандарта.

Этими правилами предусмотрены следующие виды поверок: государственная, ведомственная и текущая.

Государственной поверке подлежат образцовые меры и измерительные приборы, применяемые для поверки и градуировки общезаводских мер и измерительных приборов. Государственная поверка осуществляется только органами Комитета Госстандарта.

Кроме того, госповерке подлежат приборы, по которым производятся расчеты за отпущенную энергию, топливо, воду и т. д. Государственная поверка является обязательной. Сроки и проведение Госповерки устанавливаются органами Госстандарта.

Приборы, находящиеся в эксплуатации в технологических цехах и выпускаемые после ремонта, подлежат *ведомственной* поверке. Ведомственная поверка проводится поверочной лабораторией КИПиА при условии, что предприятие зарегистрировано в местных органах Госстандарта. Поверку выполняют сотрудники, аттестованные в местных органах Госстандарта.

Текущую поверку проходят меры и измерительные приборы, находящиеся в работе, с целью систематического надзора за верностью их показаний и исправным состоянием. Текущую поверку проводит персонал поверочной лаборатории или эксплуатационный персонал цеха КИПиА.

Работы, которые должна выполнять эксплуатационная группа, могут быть разделены на три категории: оперативные работы, текущее обслуживание, текущая поверка и ремонт.

В объем оперативных работ входит подготовка приборов и их включение в работу, переналадка режимов работы приборов, отключение приборов, проверка их исправности.

Во время оперативных осмотров приборов необходимо обращать внимание на исправное состояние коммуникации. При наблюдении за автоматическими регуляторами необходимо сопоставлять их работу с показаниями приборов, контролирующих процес-

сы, технологически связанные с регулируемым узлом. Это дает возможность косвенно судить о правильности их работы.

Текущая проверка регулятора может проводиться путем наблюдения за работой регулятора после внесения искусственного возмущения в регулируемый процесс, наблюдением за работой контрольных приборов при отключении и повторном включении автоматического регулятора.

Текущее обслуживание производится в плановом порядке. В объем текущего обслуживания входят работы по чистке и смазке приборов, заполнение чернилами перьев самопишущих приборов, замена сухих элементов, замена диаграммной бумаги и т. д. На каждой диаграмме перед ее установкой должны быть сделаны следующие отметки: номер позиции прибора, дата и время установки, показание интегратора, фамилия лица, установившего диаграмму.

Текущая поверка приборов проводится без снятия прибора с работающей установки. Поверку выполняют в сокращенном объеме. Проверяют показания только в нескольких точках шкалы. Текущая поверка не заменяет обязательной ведомственной поверки и не изменяет сроков ее проведения.

Текущий ремонт проводят с целью устранения отказов в работе средств автоматизации. При таком ремонте приборы и регуляторы не снимают с места установки, так как для устранения неисправностей не требуется разборка приборов или замена сложных узлов.

Контрольные вопросы

1. Что такое диспетчерский щит?
2. Что такое поворотная рама?
3. Зачем делается двойной пол?
4. Что такое поверка приборов?

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	3
Глава I. Основы автоматических устройств	4
§ 1. Основные определения и понятия	4
§ 2. Классификация приборов	6
§ 3. Государственная система приборов. Международная система единиц	7
Глава II. Системы дистанционной передачи показаний	9
§ 4. Дифференциально-трансформаторная система	9
§ 5. Ферродинамическая система	11
§ 6. Центральная ветвь ГСП. Система унифицированного сигнала постоянного тока	13
§ 7. Система преобразовательных элементов с магнитной компенсацией	21
§ 8. Система передачи показаний с пневматическим выходным сигналом	24
§ 9. Особенности систем автоматических приборов	26
Глава III. Приборы для измерения давления	28
§ 10. Жидкостные манометры	29
§ 11. Пружинные манометры	31
§ 12. Конструктивные особенности приборов давления с устройством дистанционной передачи показаний	36
§ 13. Эксплуатация приборов давления	38
Глава IV. Приборы для измерения расхода жидкостей и газов	39
§ 14. Расходомеры обтекания	40
§ 15. Приборы для измерения расхода методом переменного перепада давления	42
§ 16. Сужающие устройства	43
§ 17. Дифференциальные манометры	45
§ 18. Индукционные расходомеры	56
§ 19. Особенности эксплуатации приборов для измерения расхода	66

Глава V. Приборы для измерения температуры	68
§ 20. Жидкостные стеклянные термометры	68
§ 21. Манометрические термометры	70
§ 22. Термоэлектрические термометры	71
§ 23. Термометры сопротивления	76
§ 24. Пирометры излучения	79
§ 25. Особенности эксплуатации и монтажа приборов для измерения температуры	82
Глава VI. Приборы для измерения уровня	85
§ 26. Уровнемеры	85
§ 27. Сигнализаторы уровня	91
§ 28. Особенности эксплуатации приборов измерения и сигнализации уровня	96
Глава VII. Приборы физико-химического анализа	98
§ 29. Газоанализаторы	98
§ 30. Солемеры и рН-метры	105
§ 31. Особенности эксплуатации и монтажа приборов физико-химического анализа	110
Глава VIII. Показывающие вторичные приборы	114
§ 32. Отчетные устройства	114
§ 33. Логометры	116
§ 34. Мосты	119
§ 35. Потенциометры и милливольтметры	124
§ 36. Вторичные показывающие приборы расхода, давления и уровня	131
§ 37. Особенности эксплуатации и монтажа вторичных приборов	133
Глава IX. Основы автоматического регулирования котельных агрегатов	134
§ 38. Котельные установки как объект регулирования	134
§ 39. Основные понятия и определения теории автоматического регулирования	141
§ 40. Свойства и характеристики объектов регулирования	145
§ 41. Основные законы регулирования	147
Глава X. Автоматические регуляторы	155
§ 42. Регуляторы прямого действия	156
§ 43. Позиционные электрические регуляторы	158
§ 44. Пневматические регуляторы	160
§ 45. Гидравлические регуляторы	168
§ 46. Электронные приборы Московского завода тепловой автоматики	170
§ 47. Регулирующие приборы РП2	190
§ 48. Программные регуляторы	206
Глава XI. Регулирующие органы и исполнительные механизмы	211
§ 49. Поворотные регулирующие заслонки	212
§ 50. Электрические исполнительные механизмы	213

§ 51. Пневматические исполнительные механизмы	222
§ 52. Позиционеры	223
§ 53. Характеристики регулирующих органов	226
§ 54. Регулирующие органы тягодутьевых машин	231
§ 55. Особенности эксплуатации и монтажа исполнительных механизмов и регулирующих органов	233
Глава XII. Диспетчеризация и организация обслуживания контрольно-измерительных приборов и автоматики	236
§ 56. Диспетчерский щит	236
§ 57. Конструкция каркасных щитов	237
§ 58. Защита котельных агрегатов	247
§ 59. Организация обслуживания контрольно-измерительных приборов и автоматики	249

Владимир Абрамович Гольцман

**ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ
И СРЕДСТВ АВТОМАТИКИ
ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ**

Научный редактор Б. В. Хитров
Редактор М. И. Сорокина
Художник А. И. Шавард
Художественный редактор Т. В. Панина
Технический редактор Л. А. Григорчук
Корректор В. А. Орлова

ИБ № 2371

Изд. № ЭГ—344. Сдано в набор 11.01.80. Подп. в печать 14 05.80.
Т-08477. Формат 60×90^{1/16}. Бум. тип. № 1 Гарнитура литературная. Печать
высокая. Объем 16 усл. печ. л. 17,97 уч.-изд. л. Тираж 40 000 экз.
Заказ № 55. Цена 65 коп.

Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14. Издательство «Высшая школа»

Московская типография № 8 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР
по делам издательства, полиграфии и книжной торговли,
Хохловский пер., 7.