

624.97
С604

М. Б. СОЛОДАРЬ
М. В. КУЗНЕЦОВА
Ю. С. ПЛИШКИН

**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ
КОНСТРУКЦИИ
ВЫТЯЖНЫХ
БАШЕН**



Печатается по решению секции «Строительная механика и строительные конструкции» редакционного совета Ленинградского отделения Стройиздата от 29 октября 1974 г.

Научный редактор — д-р техн. наук Ю. А. Павлов

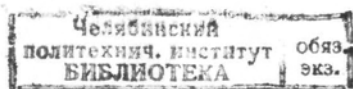
Солодарь М. Б., Кузнецова М. В., Плишкин Ю. С. Металлические конструкции вытяжных башен. Л., Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1975. 186 с.

Вытяжные башни — специальные высотные сооружения, предназначенные для создания тяги и выноса отходов производства, сохраняющих после очистки остаточное содержание вредных веществ, в верхние слои атмосферы. Жесткие условия санитарно-гигиенических норм приводят к необходимости создания вытяжных сооружений значительной высоты. Вытяжные башни высотой 80—200 м являются сложными инженерными сооружениями. Их конструкции обладают рядом специфических особенностей, которые не освещены еще в специальной литературе.

В книге приведены краткие сведения из истории строительства вытяжных башен, изложены принципы их конструирования и расчета. Определенное внимание уделено также перспективам развития конструктивных форм этих сооружений.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников, занятых проектированием вытяжных устройств большой высоты и других аналогичных высотных сооружений (телевизионных башен, антенн, опор линий электропередач и др.), а также на производителей, непосредственно связанных с изготовлением, монтажом и эксплуатацией этих сооружений.

Табл. 28, рис. 68, список лит.: 108 назв.



С $\frac{30205-175}{047(01)-75}$ 138—75

© Стройиздат. Ленинградское отделение, 1975

ПРЕДИСЛОВИЕ

Быстрый рост промышленности и энергетической базы, вызвавший увеличение объемов специфических отходов производства, выдвинул в качестве одной из важнейших мировых проблем современности охрану чистоты атмосферного воздуха.

В Советском Союзе вопросы охраны природы постоянно находятся в центре внимания Коммунистической партии и Советского государства. В мае 1949 г. специальным постановлением Совета Министров СССР «О мерах борьбы с загрязнением атмосферного воздуха и об улучшении санитарно-гигиенических условий населенных мест»* был установлен государственный контроль за охраной воздуха [16]. За истекшие годы советское законодательство в области охраны окружающей человека среды существенно расширилось.

XXIV съезд КПСС в числе основных задач развития народного хозяйства наметил также и задачи по усилению охраны природы. В постановлении. 4-й сессии Верховного Совета СССР «О мерах по дальнейшему улучшению охраны природы и рациональному использованию природных ресурсов» сказано: «Считать одной из важнейших государственных задач неустанную заботу об охране природы. . .»**

Советский Союз — первая страна в мире, где установлены предельно допустимые концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий постоянно совершенствуются. Нормы 1971 г. [83], например, содержат 114 наименований вредных веществ, ограничиваемых предельно допустимыми концентрациями, в то время как в аналогичных нормах 1963 г. ограничения касаются только 37 веществ и пределы допустимых концентраций некоторых из них выше. Разработка новых технологических схем, предусматривающих очистку производственных выбросов в соответствии с санитарно-гиги-

* Постановление СМ СССР от 29 мая 1949 г. № 2196. Директивы КПСС и Советского Правительства по хозяйственным вопросам. Т. 3. М., Госполитиздат, 1958, с. 467.

** Заседания Верховного Совета СССР восьмого созыва (четвертая сессия). Стенографический отчет. Изд. Верховного Совета СССР, 1972, с. 243.

ническими требованиями, способствует неуклонному снижению загрязнения пылью и газами воздуха в городах Советского Союза. За последние 10—15 лет в Москве, Ленинграде, Киеве, Баку, Алма-Ате и других городах загрязненность воздуха снизилась в несколько раз [48].

Масштабы загрязнения атмосферы и его вредные последствия в народном хозяйстве, экономике и природе таковы, что борьба с загрязнением на современном этапе приняла международный характер [16, 67, 70, 80, 93 и др.]. Во всех странах мира создается заново или улучшается законодательство по вопросам защиты атмосферы от загрязнения. В США в 1967 г. был принят «Закон о борьбе с загрязнением воздуха», в 1969 г.— «Федеральный закон об охране окружающей среды» [75, 40].

Усовершенствовано или существенно исправлено соответствующее законодательство в Великобритании («Закон о санитарной охране атмосферного воздуха и постепенном введении бездымных зон», 1956 г. [93]), во Франции и ФРГ. В течение последнего десятилетия приняты соответствующие законы в Австралии, Новой Зеландии, Японии и в ряде других стран.

Охрана окружающей человека среды может быть полностью обеспечена только в результате международного сотрудничества. В настоящее время эти вопросы находятся уже на рассмотрении международных организаций (Всемирная организация здравоохранения [74], Конференция ООН в 1972 г. в Стокгольме и др.). Национальные планы оздоровления внешней среды дополняются двусторонними и многосторонними соглашениями. Активизация борьбы с загрязнением воздуха дает положительные результаты.

Мероприятия по борьбе с загрязнением атмосферного воздуха включают в себя [74]:

- предупреждение утечки загрязняющих и токсических веществ в атмосферу путем их полного улавливания и утилизации;

- замену некоторых технологических процессов или видов топлива новыми, которые вызывают меньшее загрязнение атмосферного воздуха;

- очистку отходов производства и последующее их рассеивание в атмосферном воздухе на большой высоте.

Все эти мероприятия технически сложны. Первое из них решает задачу борьбы с загрязнением атмосферы наиболее радикально, однако требует разработки новых технологических схем, связанных с большими расходами, и для целого ряда производств в настоящее время не может быть реализовано. Внедрение адекватных заменителей с пониженной токсичностью возможно только в энергетике и на транспорте; в промышленных процессах это не всегда осуществимо не только практически, но и теоретически. Вследствие этого в настоящее время весьма широкое распространение в различных отраслях промышленности получили производственные процессы с максимально возможной

очисткой вредных выделений и с последующим выбросом отходов пониженной концентрации и агрессивности в верхние слои атмосферы. Это является в ряде случаев экономически наиболее целесообразным мероприятием в комплексе задач по защите природы [17].

Одним из типов инженерных сооружений, с помощью которых отходы производства с остаточным содержанием вредных веществ выбрасываются на значительной высоте, являются вытяжные башни. Вытяжные башни представляют собой сложные инженерные сооружения. Потребности в подобных сооружениях непрерывно возрастают в связи с интенсификацией производства и созданием новых отраслей промышленности. Вытяжные башни возводятся на объектах таких основных отраслей промышленности, как химическая, черная и цветная металлургия, энергетическая и др. Между тем, эти специальные сооружения, относительно новые по специфике и конструктивным формам, не получили еще достаточного освещения в отечественной и зарубежной литературе. Авторы стремились восполнить этот пробел, обобщив накопленный опыт проектирования строительных конструкций вытяжных башен.

Авторы не претендуют на исчерпывающее освещение темы: особенности технологических требований, изготовления, монтажа и эксплуатации сооружения затронуты только в объеме, необходимом для изложения вопросов проектирования металлических конструкций вытяжных башен высотой до 200 м.

ГЛАВА I

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫТЯЖНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Промышленные трубы являются неотъемлемой частью комплекса сооружений предприятий металлургической, химической и ряда других отраслей промышленности с момента их возникновения. Назначение и условия работы этих сооружений вследствие непрерывного роста промышленности и совершенствования технологии претерпевали существенные изменения, что накладывало определенные, меняющиеся со временем требования к их конструкции в отношении как применявшихся материалов, так и конструктивных форм.

Вначале промышленные трубы служили только для создания тяги, обеспечивающей определенные режимы процессов горения и другие химические реакции, используемые в промышленности. Малая мощность установок, их примитивное устройство, отсутствие возможностей для использования тепла отходящих газов позволяли ограничиваться вытяжными трубами малых высоты и диаметра. Эти трубы возводили из обыкновенного красного кирпича (рис. 1).

Высоту промышленных труб увеличивали в основном в целях усиления тяги, но также частично и для снижения задымленности воздуха. В случаях, когда сопротивление обычного красного кирпича воздействию высоких температур оказывалось недостаточным, внутреннюю поверхность трубы футеровали огнеупорными материалами. Вместе с тем, высокая температура отходящих газов исключала возможность образования конденсата в толще кирпичного ствола, что обеспечивало длительную надежную работу кирпичных труб.

В середине XIX в. появляются металлические трубы. Однако отсутствие эффективной защиты от коррозии и высокотемпературный нагрев отходящими газами значительно сокращали сроки службы этих труб по сравнению с кирпичными. Вот почему практическое использование получили металлические трубы малого диаметра и высотой до 30 м (свободно стоящие или на оттяжках).

Тенденция к увеличению высоты труб выявила основной недостаток кирпича как строительного материала этих соору-

жений — низкое сопротивление сжатию. Вследствие этого возникла потребность в значительном количестве высококачественного кирпича, сильно возросли объем и вес кладки, а отсюда и необходимость в дорогостоящем фундаменте. Невозможность механизации работ по возведению труб требовала высококвалифицированных мастеров-трубокладов. Все эти факторы резко повышали стоимость кирпичных труб; хотя в современных условиях известна практика строительства и эксплуатации

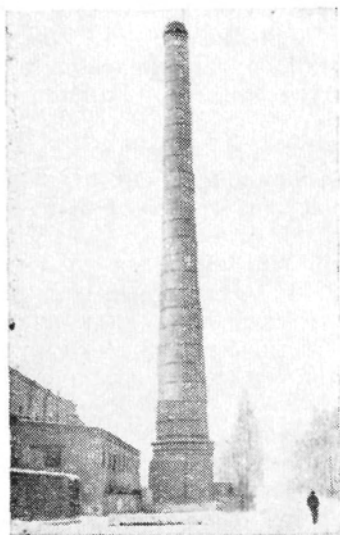


Рис. 1. Кирпичная дымовая труба высотой 60 м

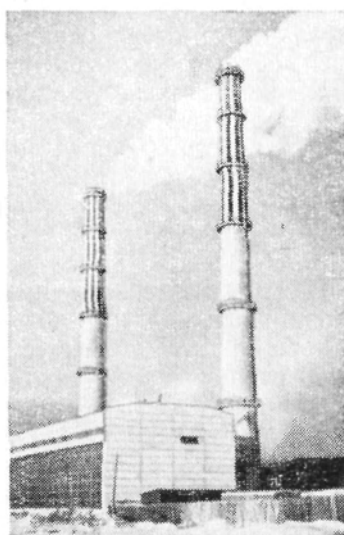


Рис. 2. Железобетонная дымовая труба высотой 100 м

кирпичных труб большой высоты (например, труба высотой 130 м на Нижне-Тагильской ТЭЦ), оптимальная их высота оказалась в пределах 70 м [9].

Высота кирпичных труб не удовлетворяла практическим требованиям. В начале XX в. появился новый, более прочный материал — железобетон, который и стал использоваться для возведения труб.

Первые неудачи в строительстве железобетонных труб объяснялись отсутствием теории расчета железобетонных конструкций. Однако соответствующий круг исследований уже в первой четверти XX в. позволил приступить к возведению железобетонных труб высотой более 100 м. Этому в определенной степени также способствовало и снижение температуры отводимых газов, тепло которых стало использоваться в технических целях.

Применение железобетона значительно снизило стоимость строительства вытяжных труб и увеличило их высоту по сравнению с кирпичными. Вследствие этого в 20—30-х гг. XX в. в Европе и США и в 30—40-х гг. в СССР начало осуществляться строительство большого числа железобетонных труб значительной высоты (рис. 2).

Поскольку снижение температуры отходящих газов соответственно уменьшило тягу, создаваемую вытяжными трубами, роль последних в выполнении этой задачи постепенно сократилась. В новых условиях бурного развития промышленности и тепловой энергетики основным назначением труб становится вынос вредных промышленных отходов из производственной зоны в относительно удаленные от человека и природы слон атмосферного воздуха.

Однако с дальнейшей интенсификацией производства, возникновением новых отраслей промышленности становилось все более очевидным, что воздушный бассейн не может быть защищен от загрязнения промышленными отходами только путем увеличения высоты вытяжных труб. Потребовался длительный период для разработки практически выполнимых методов и средств очистки отходящих газов и внедрения их в широком масштабе производства с агрессивными и токсическими отходами. Условия работы вытяжных труб вновь претерпели изменения.

Очистка газов позволяет резко снизить их агрессивность [28], но, как правило, приводит к существенному повышению влажности отходящих газов, к появлению в них в виде тумана и мельчайших капель слабых растворов кислот и щелочей, количество которых в трубе увеличивается за счет их конденсации при невысоких температурах (ниже точки росы). Химические реакции, происходящие в стенках трубы под воздействием конденсата, разрушают бетон и вызывают коррозию арматуры, что в конечном счете приводит к разрушению железобетонной трубы. Таким образом, использование железобетонных труб, не имеющих дополнительных защитных покрытий, для удаления газов, прошедших очистку и сохраняющих определенную степень агрессивности, оказалось невозможным. Вместе с тем, для выброса неагрессивных отходов производства железобетонные трубы достаточно надежны.

Для создания тяги и эвакуации промышленных отходов в верхние слои атмосферы были разработаны новые типы конструкций вытяжных сооружений. За рубежом ими явились железобетонные трубы с разного рода защитными покрытиями внутренней поверхности ствола и трубы с внутренним стволом из коррозиестойчивых материалов, так называемая конструкция «труба в трубе». В этом сооружении наружный самонесущий ствол предназначен для восприятия ветровых нагрузок, внутренний служит непосредственно технологическим целям.

Внутренний ствол может быть самонесущим, либо подкрепленным наружным стволом.

Помимо химической стойкости к удаляемой среде материал внутреннего ствола должен обладать сравнительно высокими механическими показателями. Например, в западногерманских нормах ДИН1058 «Дымовые трубы, подверженные кислотной агрессии» [103] разработаны оба эти варианта защиты несущего ствола от воздействия химически агрессивных веществ, а именно: в виде «свободно стоящей внутренней трубы» и «футеровки звеньями». Навесная футеровка применена на сборной крупноблочной конической железобетонной трубе высотой 200 м, сооруженной в Мюнхене в 1964 г. [84].

В качестве примера схемы «труба в трубе» могут служить труба высотой 200 м на тепловой электростанции в Леверкузене (ФРГ), несущий ствол которой до отметки +65 м выполнен из железобетона, а внутренний газоотводящий ствол и несущий ствол от отметки +65 м до верха — из кирпича [71], а также трубы высотой 240 м, построенные в 1965 и 1968 гг. на тепловых электростанциях «Булл-Ран» и «Парадайс» в долине р. Теннесси (США), состоящие из двух независимых концентрических железобетонных стволов, и др. [79].

Известен случай решения 182-метровой вытяжной трубы по принципу «труба в трубе» с четырьмя газоотводящими стволами диаметром 7,45 м каждый в одном несущем стволе, наружный и внутренние стволы железобетонные, причем внутренние стволы защищены футеровкой из кислотоупорного кирпича [72].

Высокая стоимость этих типов вытяжных сооружений, чрезвычайно затрудненный надзор во время эксплуатации и трудоемкий ремонт определили поиск в Советском Союзе новых технических решений. Одним из таких решений явилась экспонировавшаяся на Строительной выставке в Москве в 1955 г. стальная башня с подвешенным внутри нее газоотводящим стволом из деревянной клепки, обработанной антипиренами и химически стойким лаком. Назначение сооружения — эвакуация газов, выделяющихся при производстве искусственного волокна. В дальнейшем сооружения подобного типа со стальной несущей башней и газоотводящими стволами из материалов, стойких по отношению к отводимым газам, получили название «вытяжные башни». Строительство их в Советском Союзе получило широкое распространение (рис. 3).

Подобные решения вытяжных сооружений имеются и за границей. В Японии на плавильном заводе горнорудных предприятий Мицуи в конце 1971 г. введена в эксплуатацию вытяжная башня высотой 160 м с газоотводящим стволом диаметром 3 м из полиэфирного стекловолокнистого пластика [82]. Конструкции такого типа используются за рубежом и в тех случаях, когда в одном сооружении совмещено несколько газоотводящих стволов. Вытяжная башня с двумя газоотводящими стволами

диаметром 1,03 м построена на химическом заводе в Бристолье (Англия) [21]. Несущая башня этого сооружения из оцинкованных трубчатых профилей имеет высоту 120 м. Материал газоотводящих стволов — нержавеющая сталь.

Весьма своеобразна по конструктивной схеме вытяжная башня высотой 220 м для ТЭЦ «Шиллинг» в г. Штаде (ФРГ) [106]. Ее несущая конструкция в виде трехгранной башни вы-

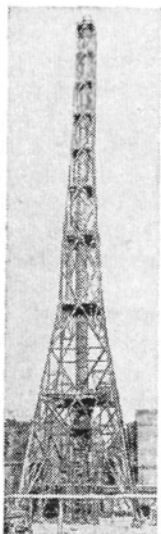


Рис. 3. Вытяжная башня высотой 150 м Невского химического завода в Ленинграде

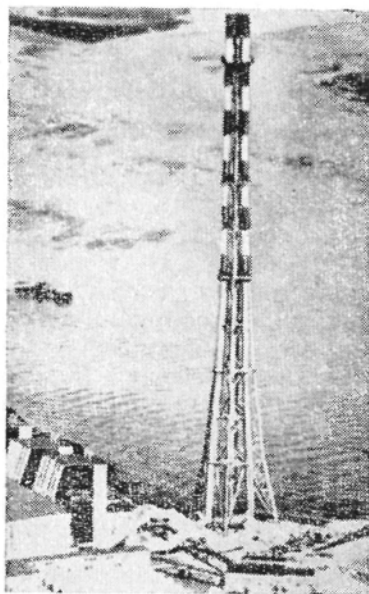


Рис. 4. Вытяжная башня высотой 220 м для ТЭЦ «Шиллинг» в г. Штаде (ФРГ)

полнена из открытых профилей, в частности, пояса башни изготовлены из специального типа широкополочного двутавра. Газоотводящие стволы расположены снаружи вдоль каждой грани башни и опираются на ее выносные площадки через 30—50 м (рис. 4)

Все конструкции сооружения для защиты от коррозии оцинкованы. Известны случаи, когда при аналогичном (внешнем по отношению к несущей конструкции) расположении газоотводящих стволов опорой для них является мачта постоянного сечения [104].

На основе приведенных данных можно заключить, что строительство вытяжных сооружений большой высоты ведется повсеместно. Высота этих сооружений назначается в пределах 100—

300 м [4, 60, 73, 85, 105 и др.]. В Советском Союзе, несмотря на получившее в последнее время определенное распространение строительство железобетонных вытяжных сооружений высотой до 320 м [14, 20], преимущественным типом конструкций все же являются стальные вытяжные башни большой высоты. В отличие от Советского Союза, за рубежом преимущественно строят стальные и железобетонные трубы, выполненные по конструктивной схеме «труба в трубе».

Все многообразие современных промышленных труб может быть систематизировано по технологическому назначению и по конструктивному решению.

Промышленные трубы по технологическому назначению - по составу и температурно-влажностной характеристике отводимых сред — разделяются на два принципиально отличающихся друг от друга типа: вытяжные (выхлопные, вентиляционные) башни (трубы) и дымовые (газодымовые) трубы *

Вытяжные (выхлопные, вентиляционные) башни (трубы) отводят прошедшие очистку, но сохраняющие определенную степень агрессивности газовые и газозвушные смеси влажностью более 80—90%, содержащие конденсат и, как правило, не имеющие высокой температуры.

Дымовые (газодымовые) трубы отводят дым и газозвушные смеси, содержащие, помимо взвесей сажи, золы и пыли, газы средней и низкой агрессивности в небольшом количестве, а также газозвушные смеси, получаемые при сжигании топлива для обжига и плавления различных материалов и загрязненные продуктами окисления веществ, находящихся в перерабатываемом сырье; влажность отводимых дымовых и газозвушных смесей не более 60%, температура 100—500°С.

По конструктивному решению, в зависимости от степени совмещения технологических и инженерных функций в сооружении [36], промышленные трубы могут быть разделены на три основных типа: свободно стоящие трубы, подкрепленные трубы, вытяжные башни.

Свободно стоящие трубы характеризуются полным совмещением технологических и инженерных функций, они преимущественно используются в качестве дымовых труб. Подкрепленные трубы (комбинированные конструктивные решения промышленных труб) характеризуются тем, что газоотводящие стволы их, выполняя технологические функции, одновременно участвуют в работе сооружения, обеспечивая совместно с другими несущими элементами сооружения его прочность, жесткость и устойчивость. Примером таких конструкций являются трубы, раскрепленные в нижней части жесткими подкосами или решетчатыми

* В практике зарубежного строительства под «дымовыми» трубами подразумеваются любые вытяжные трубы, независимо от степени агрессивности удаляемых сред [71 103].

конструкциями башенного типа, а также трубы на оттяжках. Подкрепленные трубы целесообразно использовать в качестве дымовых труб для отвода газов, не содержащих агрессивных компонентов, при потребной высоте выброса более 120 м.

Вытяжные башни представляют собой сооружения башенного типа, характеризующиеся четким разделением инженерных и технологических функций и состоящие из сгальной несущей конструкции и одного или нескольких газоотводящих стволов. Несущей конструкцией, как правило, является решетчатая башня, а газоотводящие стволы — элемент технологических коммуникаций [8, 54, 55]. По характеру конструктивного решения к вытяжным башням относятся и вытяжные сооружения типа «труба в трубе». Принципиальное отличие конструктивного решения вытяжной башни от ранее применявшихся вытяжных труб, заключающееся в четком разделении несущих и технологических функций составных элементов сооружения, является и главным преимуществом такого решения. Оно заключается в том, что для газоотводящих стволов могут быть использованы материалы, применение которых определяется в основном не прочностными характеристиками, а коррозионной стойкостью в условиях удаляемых конкретных сред. Эта же особенность сооружения позволяет в случае необходимости ограничить ремонтные работы заменой поврежденных коррозией участков газоотводящего ствола при сохранении всей несущей конструкции и неповрежденных участков ствола в проектом положении.

Вытяжные башни могут быть использованы и в качестве дымовых труб. Это экономически целесообразно в тех случаях, когда высота дымовых труб превышает 120—150 м; требования эксплуатационной надежности в связи с этим возрастают.

Проектирование вытяжных башен ведется в специализированных и в некоторых отраслевых институтах. В частности, в Ленинградском отделении ЦНИИ «Проектстальконструкция» выполнено около 200 проектов вытяжных башен для различных отраслей промышленности. Сооружения эти имеют высоту от 40 до 280 м, в них размещены газоотводящие стволы, диаметры которых назначались от 0,6 до 10 м.

Различные материалы газоотводящих стволов, многообразие сочетаний геометрических параметров вытяжных башен и климатологических особенностей районов строительства требовали индивидуального подхода при проектировании. Сохраняя принципиальную схему сооружения, конструктивные решения большинства вытяжных башен имеют специфические отличия, обусловленные особенностями условий их работы, а также постоянным совершенствованием их конструкций.

Одним из первых сооружений подобного типа явилась вытяжная башня высотой 120 м Волгоградского алюминиевого завода, запроектированная в 1957 г. (рис. 5). Диаметр газоотво-

дящего ствола сооружения 2,75 м. По этому проекту были построены четыре вытяжные башни, которые эксплуатируются и в настоящее время.

В 60-х гг. из числа возведенных в то время сооружений наиболее высокой явилась вытяжная башня Невского химического завода в Ленинграде (см. рис. 3). Высота ее 150 м, диаметр газоотводящего ствола 2 м. Отличительной особенностью этой вытяжной башни является то, что вследствие повышенной агрессивности отводимых газов газоотводящий ствол ее выполнен из нержавеющей стали. В 1972 г. на вытяжной башне Невского химического завода были проведены динамические испытания с целью уточнения расчетной схемы и динамических характеристик сооружения [27]. Предшествовавшее испытаниям обследование сооружения подтвердило его хорошее состояние после 5 лет бесперебойной эксплуатации.

Высокая агрессивность конденсата в газоотводящем стволе и снижение рентабельности производства при вынужденных простоях во время ремонта вытяжных устройств требовали дальнейшего изыскания материалов, обладающих повышенной коррозионной стойкостью. Этим материалом в условиях титано-магниевого производства явился титан. Несмотря на высокую стоимость, применение его экономически оправдано за счет увеличения безремонтного срока службы сооружения и соответственного снижения эксплуатационных расходов. Газоотводящий ствол диаметром 4 м и высотой 120 м из титана впервые в строительной практике законструирован и выполнен для вытяжной башни Березниковского титано-магниевого комбината (рис. 6).

В настоящее время широко распространено строительство нескольких вытяжных башен на одном предприятии для разных цехов. Например, на Волховском алюминиевом заводе с 1967 г. эксплуатируется вытяжная башня высотой 120 м с газоотводящим стволом диаметром 2,3 м (рис. 7). В 1970 г. на этом заводе построены еще две вытяжные башни: одна тех же размеров, другая — высотой 80 м при диаметре газоотводящего ствола 4 м. Все они обслуживают различные цехи.

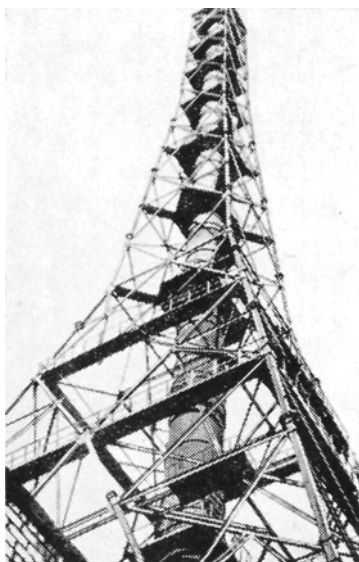


Рис. 5. Вытяжная башня высотой 120 м Волгоградского алюминиевого завода

Повышение мощности производств привело к необходимости строительства нескольких вытяжных сооружений для нужд одного цеха (рис. 8). В последние годы, когда технология производства предопределяет использование нескольких газоотводящих стволов для параллельного отвода газов из нескольких агрегатов, решения схем вытяжных башен отошли от первоначального их варианта с одним газоотводящим стволом. Целесо-

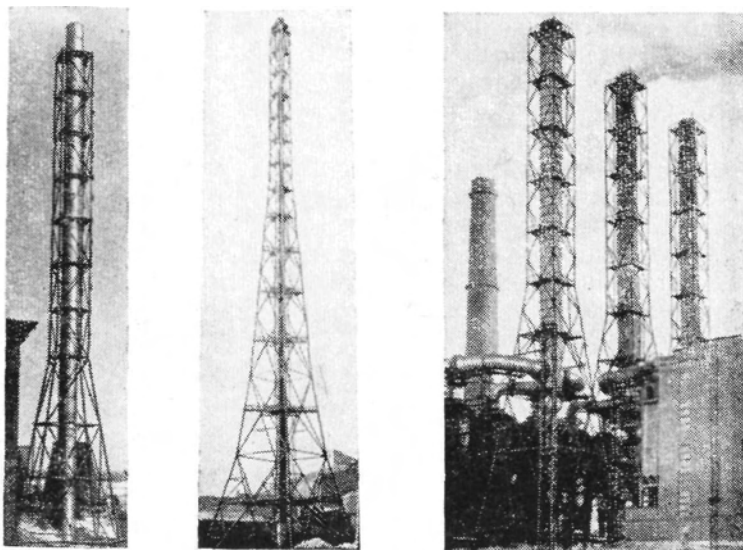


Рис. 6. Вытяжная башня высотой 120 м с титановой трубой Березниковского титано-магниевого комбината

Рис. 7. Вытяжная башня высотой 120 м Волховского алюминиевого завода

Рис. 8. Вытяжные башни для раздельного отвода газов из трех агрегатов

образным оказалось размещение нескольких стволов в одном сооружении.

Примером может служить схема вытяжной башни с двумя стальными газоотводящими стволами высотой 80 м и диаметром 3 м каждый, совмещенных в одном сооружении (рис. 9). Это вытяжная башня Уральского алюминиевого завода (проект ЛОЦНИИПСК, 1973 г.). Сложная конфигурация ее несущей башни продиктована необходимостью размещения в сооружении непосредственно под газоотводящими стволами скрубберов для очистки промышленных выбросов. Большинство же элементов конструктивных решений этой вытяжной башни основано на решениях, разработанных для одноствольных вытяжных башен.

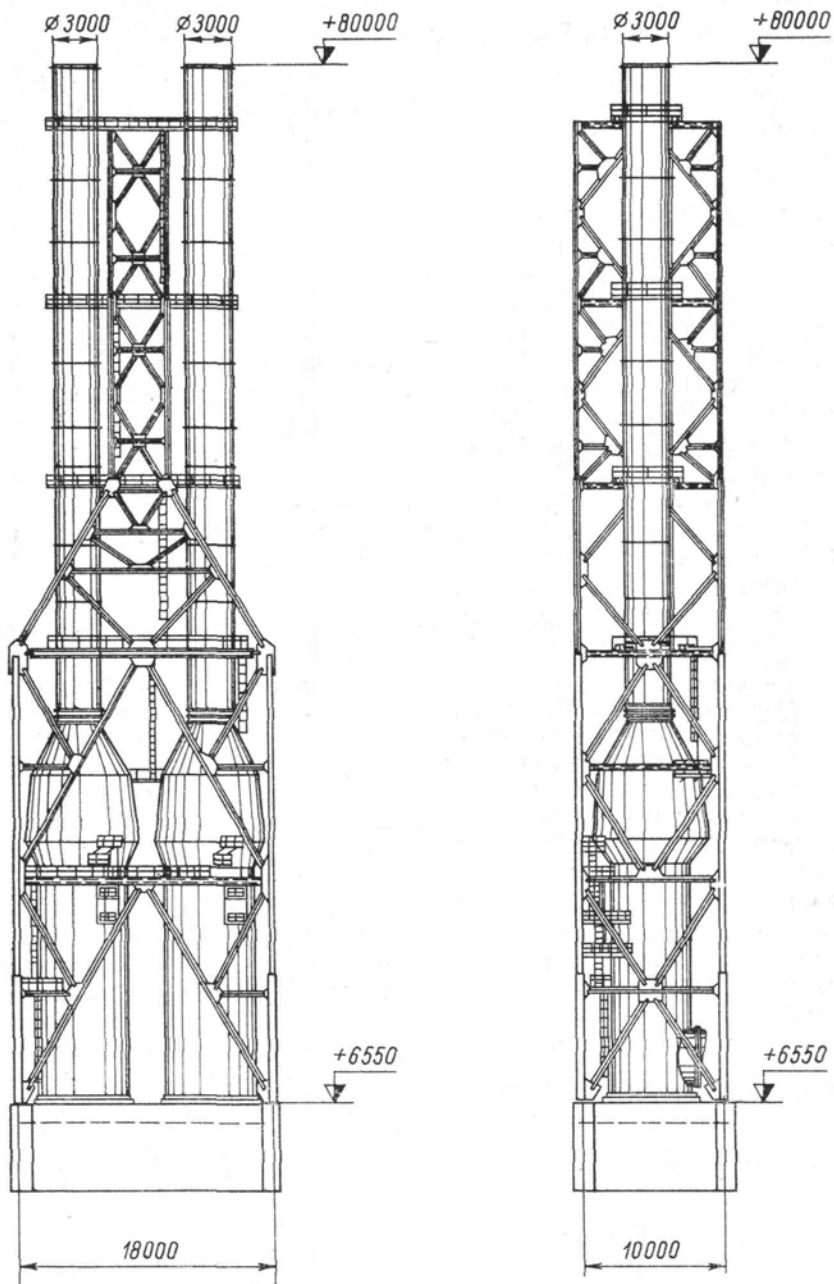


Рис. 9. Вытяжная башня высотой 80 м Уральского алюминиевого завода

ГЛАВА II

КОНСТРУКЦИИ ВЫТЯЖНЫХ БАШЕН

Как уже отмечалось ранее, опыт строительства и эксплуатации вытяжных устройств большой высоты показал, что в современных условиях наиболее распространенной конструктивной формой является стальная несущая решетчатая башня с расположенным внутри нее газоотводящим стволом, который выполнен из коррозионностойких к отводящим газам материалов. Такое компоновочное решение сооружения, естественно, не является единственным. В последние годы, в связи с резким увеличением объема строительства вытяжных устройств, появилось много других компоновочных схем.

Вместе с тем, рассматривая конструктивные решения вытяжных башен, целесообразно более подробно остановиться на этой наиболее распространенной схеме, поскольку она к тому же содержит в себе основные элементы, используемые и в других схемах.

Габаритные размеры несущей башни и сооружения в целом предопределяются технологическими параметрами сооружения, устанавливаемыми в задании на проектирование. К этим параметрам относятся:

- количество газоотводящих стволов;
- размеры стволов (диаметр и отметка выброса отходов производства в атмосферу);
- отметка верхней площадки обслуживания;
- отметки ввода газоотходов в башню;
- габарит сооружения в основании из условия размещения его на генплане.

Принимаемое в соответствии с исходными данными конструктивное решение вытяжной башни должно удовлетворять определенным требованиям, связанным с возведением и эксплуатацией сооружения. Эти требования сводятся к необходимости создания надежной конструкции, технологичной в изготовлении и монтаже, удобной в эксплуатации и по возможности наиболее экономичной. Кроме того, она должна отвечать определенным эстетическим требованиям в связи с тем, что из-за большой высоты башня достаточно хорошо обозрима даже на значительном расстоянии.

Требования удобства эксплуатации сводятся главным образом к тому, чтобы на протяжении всего срока службы сооружения были обеспечены соответствующие условия для осмотра, окраски и периодического ремонта как несущих конструкций сооружения, так и имеющегося оборудования, коммуникаций и т. д.

§ 1. Схемы сооружения

Схемы несущей башни. В соответствии с геометрическими схемами несущие башни можно классифицировать по следующим характеристикам:

по количеству граней — трех-, четырех- и многогранные (с количеством граней более четырех);

по конфигурации башни — без переломов граней по высоте и с переломами граней;

по схеме решетки — с крестовой, ромбической и треугольной решеткой, кроме того, определенную разновидность представляет башня с разреженной решеткой.

Для вытяжных башен высотой до 200 м наибольшее распространение получила схема с четырехгранной несущей башней: многогранные башни для таких высот сооружения нецелесообразны как по расходу металла, так и по другим технико-экономическим показателям. Что же касается трехгранных башен, то в ряде работ [50, 51] показано, что расход металла на их несущие конструкции меньше на 10—15%, чем для четырехгранных. Однако эти выводы касаются в основном только радио- и телевизионных башен, т. е. сооружений, для которых решающей нагрузкой является воздействие скоростного напора ветра непосредственно на башню, а ветровая нагрузка на оборудование незначительна.

В отличие от указанных выше сооружений в вытяжных башнях основная доля всей нагрузки, воспринимаемой башней, является следствием наличия в ней газоотводящего ствола, поскольку давление ветра на него составляет 60—70% от полной ветровой нагрузки на сооружение. Кроме того, к схеме вытяжной башни предъявляются и иные требования, вызванные спецификой назначения сооружения. Существенным фактором, влияющим на выбор схемы башни, является, например, условие размещения внутри нее газоотводящего ствола. На рис. 10 показаны возможные схемы размещения одного, двух и трех газоотводящих стволов в несущей башне. При наличии одного ствола (рис. 10, а) схемы четырех- и трехгранной башен с точки зрения работы основных элементов башни в достаточной мере близки.

Сравнивая эти схемы, можно отметить, что трехгранная башня не требует устройства специальных диафрагм для обеспечения неизменяемости ее контура, имеет меньшее число основных элементов по сравнению с четырехгранной, менее чувствительна к неравномерным осадкам фундаментов, но вместе с тем обладает и рядом существенных недостатков. К ним можно отнести: увеличение (более чем в 1,5 раза) ширины граней башни из-за размещения в ней газоотводящего ствола; усложнение узлов сопряжения элементов конструкций, связанное с расположением граней в плане под углом 60°. Трехгранная башня обладает и некоторыми недостатками с эстетической точки зрения. Отсутствие взаимно перпендикулярных плоскостей симметрии приводит к тому, что при взгляде на башню сбоку параллельно одной из граней она кажется асимметричной, а вблизи — «падающей». Вследствие этого для вытяжных сооружений с одним газоотводящим стволом в качестве

несущей конструкции целесообразно использовать четырехгранную башню, а для сооружений с несколькими стволами, исходя из условий их размещения и работы основных элементов башни, можно рекомендовать: четырехгранную — при двух газоотво-

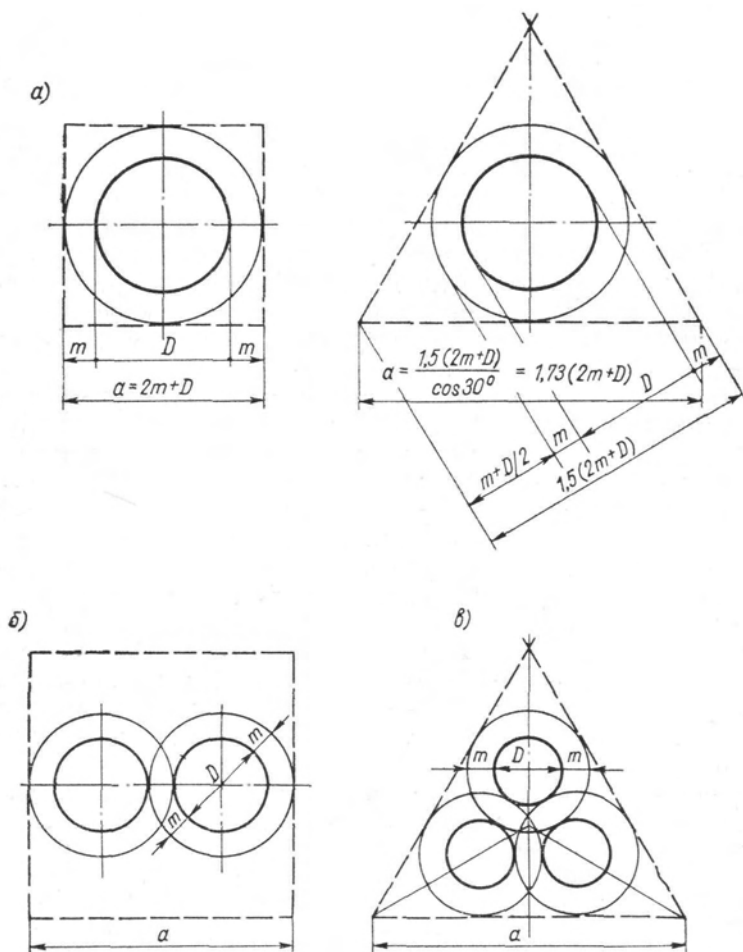


Рис. 10. Схемы размещения газоотводящих стволов в несущей башне
a — одного ствола; *б* — двух; *в* — трех; *D* — диаметр газоотводящего ствола;
m — габарит проходов

дящих стволах (рис. 10, б), трехгранную — при трех газоотводящих стволах (рис. 10, в).

Трехгранная несущая башня может также оказаться экономичной по расходу металла и для случая размещения в башне одного газоотводящего ствола небольшого диаметра,

когда оптимальный габарит башни определяется только из условия несущей способности, а не диктуется возможностью размещения внутри нее газоотводящего ствола.

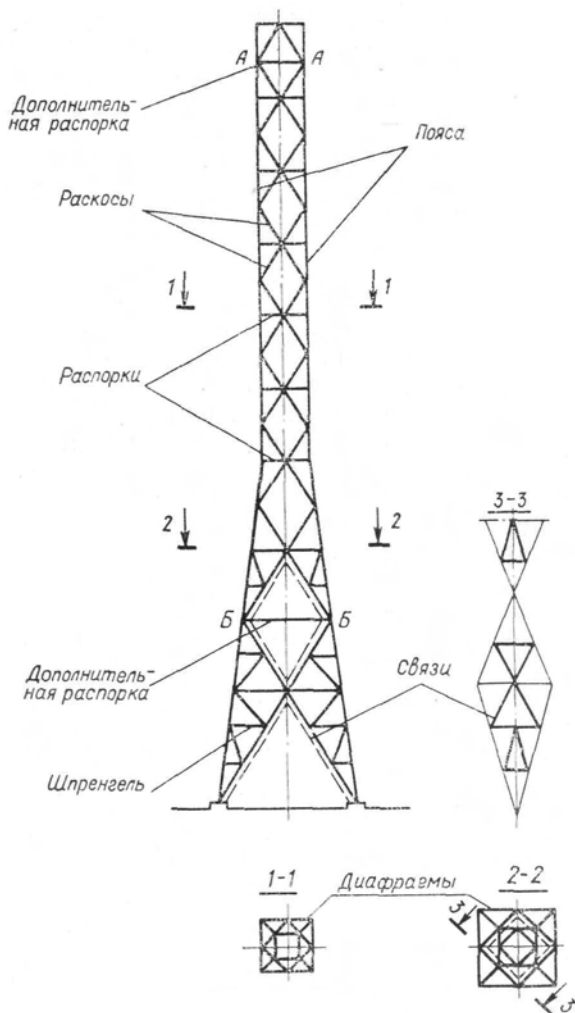


Рис. 11. Основные конструктивные элементы башни

Башня как несущая конструкция сооружения должна обладать неизменяемостью и необходимой жесткостью. Основные конструктивные элементы наиболее распространенной четырехгранной несущей башни с ромбической решеткой показаны на рис. 11.

Принимаемые схемы решетки и диафрагм должны обеспечить геометрическую неизменяемость башни независимо от условия неподвижности ее фундаментов.

Поперечная жесткость четырехгранных и многогранных башен обеспечивается диафрагмами. Расстояние между ними, как правило, в 1,5—2,5 раза превышает ширину грани башни и составляет для рассматриваемых башен примерно 6—15 м. Устройство диафрагм в особенности необходимо в плоскости излома граней башни.

Помимо функции обеспечения поперечной жесткости сооружения, диафрагмы используются как площадки, служащие для опирания газоотводящего ствола или его секций, а также для осмотра сооружения и его ремонта. Подъем на площадки осуществляется по лестнице, а иногда и с помощью лифта. Учитывая необходимость частого подъема на большую высоту башни при наличии колебаний ее под воздействием ветровой нагрузки, лестница должна быть по возможности наиболее удобной для прохода по ней и достаточно надежной.

Конфигурация (силуэт) несущей башни. Силуэт несущей башни определяется соотношением ее основных размеров и контуром очертания поясов. Наиболее распространенные типы силуэтов башен с одним и двумя переломами поясов по высоте представлены на рис. 12,а,б. В ряде случаев оказываются целесообразными башни без переломов поясов, с постоянным уклоном граней по всей высоте сооружения (рис. 12,0) либо с параллельными поясами. Конфигурация башни выбирается при удовлетворении всех требований, предъявляемых к данному сооружению.

По опыту проектирования установлены некоторые соотношения основных размеров вытяжных башен (высоты башни H , ширины основания A и диаметра газоотводящего ствола D), определяющие выбор их силуэта. Для сооружений высотой 80—150 м они приведены в табл. 1. В ней также даны некоторые рекомендации граничных значений этих отношений, позволяющие определить наиболее рациональные параметры сооружения. Для вытяжных сооружений высотой менее 80 м рекомендуется, как правило, во всех случаях принимать башни без излома граней по высоте.

Каждый из приведенных на рис. 12 вариантов силуэта башни имеет свои преимущества и недостатки, которые оцениваются при сопоставлении показателей по расходу стали, а также трудозатратам на изготовление и монтаж конструкций. При этом обязательно следует принимать во внимание и эстетические соображения.

Башни с двумя переломами граней по высоте являются наиболее трудоемкими в изготовлении и монтаже, так как характеризуются наибольшим количеством монтажных элементов, лишь часть которых повторяется по высоте. Вместе с тем, силуэт

башни с двумя переломами граней в наибольшей степени приближается к конфигурации стержня равного сопротивления, что обеспечивает относительное постоянство усилий по всей высоте пирамидальных частей башни и приводит к уменьшению расхода стали.

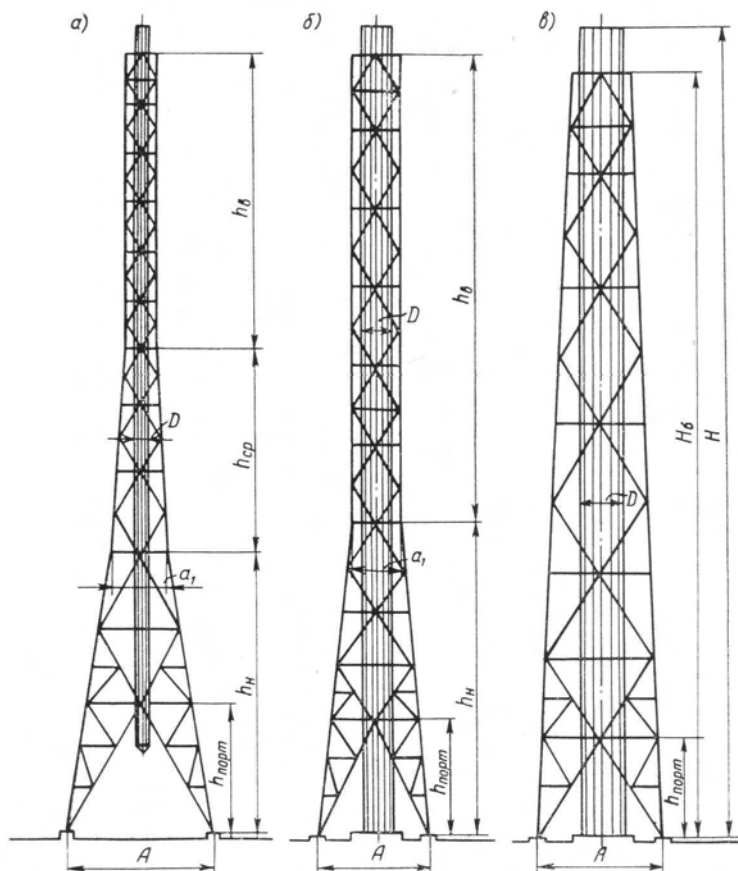


Рис. 12. Основные типы силуэтов вытяжных башен
 а — с двумя переломами граней по высоте; б — с одним; в — без переломов

В башне с одним переломом граней по высоте меньше количество монтажных единиц и больше их повторяемость по сравнению с башней, имеющей два перелома, что, естественно, снижает трудозатраты на ее изготовление и монтаж. Снижает трудозатраты на изготовление конструкций также и уменьшение общего количества трудоемких по изготовлению узлов сопряжения поясов в местах их перелома.

Таблица 1

Соотношения основных размеров вытяжных башен
высотой 80—150 м

Количество изломов граней башни по высоте		H/D	H/A	h_B/H_B
По проект- ным мате- риалам	Один	16,7—33,3 30—75	5,22—9,24 4,8—6,67	0,46—0,73 0,28—0,5
	Два			
Рекомен- дуемые	Один	≤ 30 30—33,3	$\geq 6,7$ 5,2—6,7	0,46—0,73 —
	Один или два			
	Два	$\geq 33,3$	$\geq 5,2$	0,28—0,5

Продолжение

Количество изломов граней башни по высоте		h_{cp}/H_B	h_H/H_B	A/a_1	$h_{порт}/A$
По проект- ным мате- риалам	Один	— 0,18—0,36	0,27—0,54 0,3—0,45	1,87—3,3 2—3,22	0,74—1,31 0,56—1,22
	Два				
Рекомен- дуемые	Один	—	0,27—0,54 —	1,9—3,3 1,9—3,3	0,6—1,3 0,6—1,3
	Один или два				
	Два	0,18—0,36	0,3—0,45	1,9—3,3	0,6—1,3

Примечание. Обозначения см. на рис. 12.

Схема башни с постоянным уклоном поясов в пространстве по сравнению с ранее рассмотренными вариантами башен с изломами граней по высоте характеризуется более плавным ростом усилий в поясах и относительно меньшей их величиной в верхней части башни. Башни без перелома граней в определенной степени проще в изготовлении за счет уменьшения общего количества элементов. Однако последние имеют крайне ограниченную повторяемость, и это приводит к большому количеству типоразмеров элементов, существенно увеличивающему трудозатраты на изготовление. Кроме того, схема башни с постоянным уклоном поясов по всей высоте сооружения имеет увеличенную длину элементов диафрагм и решетки, что требует повышенного расхода металла на их изготовление.

Применение башни без переломов поясов особенно целесообразно при эксплуатации сооружения в условиях повышенной агрессивности среды, когда одними из основных требований, предъявляемых к конструкциям, являются укрупнение элементов и их узловых сопряжений, а также уменьшение их общего числа. В остальных случаях выбор силуэта башни в существенной мере подчинен технологическому заданию, содержащему основные параметры разрабатываемого вытяжного устройства.

В практике проектирования встречаются особые случаи, влияющие на выбор схемы башни, когда до определенного ее уровня по высоте должно быть размещено специальное оборудование. Примером такой башни является сооружение, изображенное на рис. 9. Его конфигурация в нижней части продиктована необходимостью размещения скрубберов.

Схемы решетки башен.

При проектировании решетки несущей башни, как правило, принимают одного из трех типов — ромбическую, крестовую или треугольную (рис. 13). Решетка нижней опорной части башни решается обычно во всех случаях одинаково (см. рис. 12). Выбор типа решетки определяется необходимой степенью развязки поясов и гибкостью элементов самой решетки.

При проектировании крестовой и треугольной решетки длина панелей всех поясов, при прочих равных условиях, получается одинаковой. Раскосы крестовой решетки подбирают обычно из условия работы их только на растяжение, а треугольной — на сжатие. Для рассматриваемых сооружений расход металла на решетки этих типов отличается незначительно. Треугольная решетка обладает некоторыми преимуществами по сравнению с крестовой, так как общее количество элементов в ней почти в 2,5 раза меньше. Это способствует не только снижению трудоемкости изготовления и монтажа конструкций, но и улучшению условий эксплуатации сооружения. Применение ромбической решетки еще больше увеличивает общее количество элементов несущей башни, однако позволяет вдвое уменьшить свободную длину как поясов, так и решетки.

Крестовая и треугольная решетки геометрически неизменяемы, что обеспечивает неизменяемость башни по высоте, а неизменяемость башен с ромбической решеткой может быть обеспечена только при условии установки дополнительных распорок. Такие распорки в практике проектирования почти всегда

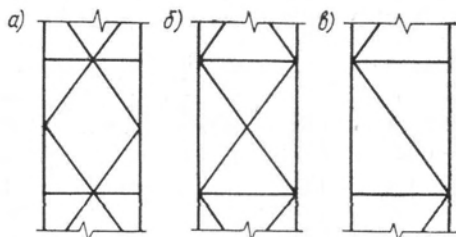


Рис. 13. Основные схемы решеток несущей башни

а — ромбическая; б — крестовая; в — треугольная

устанавливаются в верхнем ромбе (рис. 11, распорка А — Л), а также в первом снизу ромбе решетки (распорка Б—Б). При этом следует иметь в виду, что наличие дополнительных распорок приближает работу ромбической решетки к крестовой со сжатыми раскосами. Вот почему в данном случае при расчете несущей башни необходимо учитывать возникающее на ограниченном участке по высоте перераспределение усилий, обусловленное совместностью деформирования поясов и решетки. Особое влияние на это перераспределение оказывает нижняя распорка, если при этом не учтена реальная подвижность фундаментов. В связи с этим в ряде случаев оказывается целесообразным принимать схему ромбической решетки без распорки в нижнем ромбе.

Учитывая указанные выше недостатки и преимущества перечисленных типов решеток, выбор того или иного вида из них нужно производить исходя из габаритных размеров сооружения и конкретных условий его эксплуатации. При этом следует иметь в виду, что при большой высоте и большом диаметре газоотводящего ствола предпочтительно устройство ромбической решетки. В условиях повышенной агрессивности внешней среды целесообразно переходить к разреженной треугольной решетке (с увеличенными размерами панелей поясов), с элементами башни, выполненными из труб. Встречающаяся в отдельных случаях полураскосная решетка в конструкциях вытяжных башен распространения не получила и не может быть рекомендована для широкого применения, поскольку не имеет никаких преимуществ по сравнению с ранее рассмотренными типами.

Схемы диафрагм. Основное назначение диафрагм состоит в обеспечении поперечной жесткости сооружения в горизонтальных плоскостях. Для этого они должны быть неизменяемыми. Это условие достигается соответствующим подбором геометрической схемы элементов диафрагм или привариваемым к ним настилом, или тем и другим одновременно (рис. 14).

Наиболее ответственной и сложной по своей схеме и конструктивному решению является нижняя диафрагма, особенно если на нее опирается газоотводящий ствол. Эта диафрагма отличается большими пролетами изгибаемых элементов и многоступенчатой передачей вертикальной нагрузки. При восприятии нагрузки от веса ствола она значительно утяжеляется по сравнению с остальными диафрагмами башни. Верхняя диафрагма башни, к которой предусматривается подвеска газоотводящего ствола на период его монтажа или ремонта, не отличается особой сложностью, так как ее элементы имеют относительно небольшие пролеты и, как правило, не требуют дополнительного усиления для восприятия этой временной нагрузки.

Не менее важным назначением диафрагм является использование их в качестве площадок, необходимых для обслужива-

ния сооружения в процессе его эксплуатации. В соответствии с этим требованием на участках вокруг газоотводящего ствола необходимо устраивать настил, который также обеспечивает подходы к поясам башни и к отдельным узлам решетки. В зависимости от абсолютного габарита башни и его относитель-

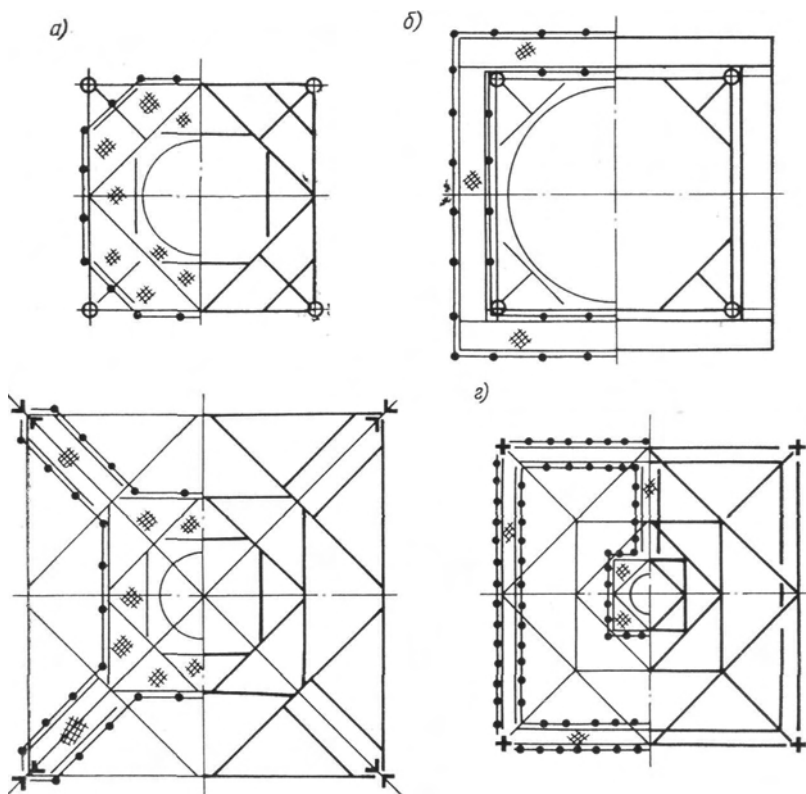


Рис. 14. Варианты диафрагм и настила площадок

a — с настилом по всей площади диафрагмы; *б* — с выносными диафрагмами и настилом; *в* — с настилом при диагональных подходах к поясам башни; *з* — с настилом по периметру башни

ного размера a/D разрабатывают различные схемы диафрагм и настила.

В верхней части сооружения размер башни в плане определяется, как правило, исходя из условия нормального размещения ствола и проходов вокруг него. Вот почему в большинстве случаев диафрагмы в этой зоне выполняются со сплошным настилом или с настилом, имеющим небольшие просветы (рис 14, *a*). Если диаметр газоотводящего ствола достаточно велик

($D=4\text{—}7$ м) и размер в плане призматической части башни не позволяет разместить площадки в ее пределах, последние делаются выносными (рис. 14, б).

В средней и нижней частях сооружения площадка, необходимая для обслуживания газоотводящего ствола, занимает лишь некоторую часть общей площади диафрагмы. Вот почему в данном случае должны быть предусмотрены дополнительные площадки, обеспечивающие подходы к поясам башни (рис. 14, в), а в ряде случаев — проходы вдоль всего периметра диафрагмы (рис. 14, з). Вся остальная площадь диафрагмы остается свободной от настила. В случае, когда газоходы подводятся к газоотводящему стволу не снизу по оси башни, а сбоку на определенной высоте от уровня земли и нижняя часть башни свободна от технологической аппаратуры, конфигурация площадки определяется схемой лестницы и необходимостью надзора за основными элементами башни.

Схемы опирания газоотводящего ствола. Газоотводящий ствол вытяжной башни находится под постоянным воздействием горизонтальных и вертикальных сил. Горизонтальные силовые воздействия возникают от давления ветрового потока и при сейсмических явлениях; вертикальные — от веса ствола, теплоизоляции, антикоррозионной защиты, а также веса конденсата, пыли и других отложений на его стенках. Применяемые схемы опирания газоотводящего ствола на несущие конструкции башни обеспечивают, как правило, раздельную передачу горизонтальных и вертикальных силовых воздействий.

Ветровая нагрузка, воспринимаемая газоотводящим стволом, передается им на башню в плоскости диафрагм, при этом специальными конструктивными мероприятиями обеспечивается свобода взаимных вертикальных перемещений башни и ствола.

Вертикальные силовые воздействия могут быть полностью восприняты непосредственно газоотводящим стволом при любом способе его опирания. Вследствие этого в целях облегчения всего сооружения целесообразно стремиться к максимально возможной разгрузке башни от веса газоотводящего ствола, т. е. стремиться опирать газоотводящий ствол на самостоятельный фундамент, не связанный с фундаментами несущей башни. При таком решении башня выполняет функцию опоры для газоотводящего ствола только на действие горизонтальных сил.

Вместе с тем, следует, однако, иметь в виду, что схема опирания газоотводящего ствола определяется прежде всего отметкой ввода газоходов в газоотводящий ствол. Если газоходы расположены ниже нулевой отметки, то газоотводящий ствол опирается на самостоятельный фундамент (рис. 15, а). Если газоходы подходят к газоотводящему стволу выше основания башни, то в зависимости от уровня ввода газоходов он может опираться одним из трех способов:

на самостоятельный фундамент (рис. 15, б);
 на специальную решетчатую опору, расположенную внутри основной несущей башни (рис. 15, в);
 на одну из нижних диафрагм несущей башни (рис. 15, г) при условии, что расход металла на эту диафрагму не будет превышать расход металла на специальную опору.

Опыт проектирования и эксплуатации вытяжных башен показал, что иные варианты опирания газоотводящего ствола, например путем подвески или опирания одновременно на все или несколько диафрагм, в большинстве случаев нецелесообразны,

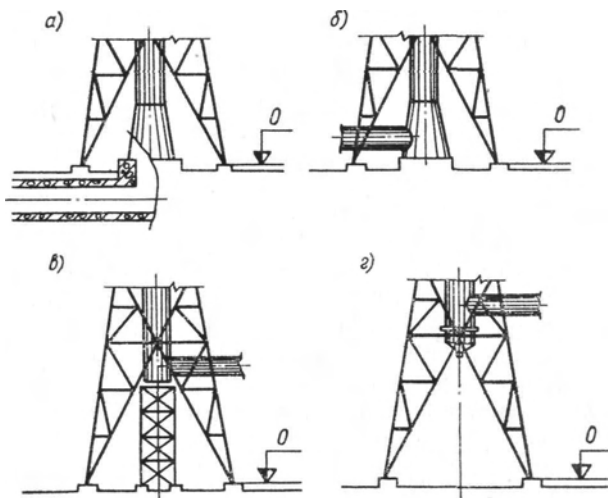


Рис. 15. Схемы опирания газоотводящего ствола
 а — на самостоятельный фундамент, газоходы ниже нулевой отметки; б — то же, газоходы выше нулевой отметки; в — на специальную решетчатую опору; г — на нижнюю диафрагму

поскольку требуют устройства компенсаторов и усложняют решения узлов.

На период монтажа и ремонта газоотводящих стволов предусматривается возможность подвески их к верхней, а при необходимости еще и к одной из промежуточных диафрагм несущей башни. Однако это не вызывает утяжеления конструкции башни, так как дополнительное нагружение поясов при подвеске ствола в верхней части сооружения компенсируется условным снижением ветровой нагрузки, которая для стадии монтажа принимается без коэффициента перегрузки. Усилия, вызванные в решетке такой подвеской, снимаются благодаря установке дополнительных распорок (распорка А—А на рис. 11). При опирании части ствола на одну из промежуточных диафрагм такие распорки для разгрузки башни должны быть поставлены в ромбах решетки выше и ниже уровня опирания ствола.

§ 2. Основные конструктивные решения несущей башни

С точки зрения решения строительных конструкций вытяжные башни являются одним из видов высотных специальных сооружений. В силу новизны и специфики назначения конструктивные решения вытяжных башен не нашли еще достаточного освещения в специальной технической литературе. Вместе с тем, такие важные показатели сооружения, как технологичность его изготовления и монтажа, расход металла, эксплуатационные качества с учетом повышенных требований в условиях агрессивности среды и надежность сооружения в целом определяются в первую очередь именно тем, насколько удачно сконструировано сооружение. Именно поэтому при разработке конструкций вытяжных башен вопросам выбора типов сечений элементов сооружения, а также решению основных узлов их сопряжения между собой должно быть уделено особое внимание.

Из-за весьма большого разнообразия возможных конструктивных решений вытяжных башен дать полное освещение всех вопросов, связанных с их конструктивной разработкой, естественно, не представляется возможным. По этой причине в настоящем параграфе отражены и соответствующим образом проанализированы лишь принципиальные, наиболее удачные и характерные решения, получившие наибольшее распространение в практике строительства вытяжных башен.

Типы сечений поясов, решетки и диафрагм. Как известно, для высоких сооружений башенного типа основной расчетной нагрузкой является воздействие скоростного напора ветра на его несущие и ограждающие конструкции. В связи с этим особое значение приобретает вопрос выбора типа сечений элементов сооружения, поскольку от размеров и формы принимаемых профилей во многом зависит суммарная величина ветровой нагрузки, действующей на сооружение.

В книге А. Г. Соколова [51] приведены некоторые технико-экономические характеристики башен высотой 200 м, элементы которых имеют трубчатое сечение и крестовое из уголков. Отношение масс соответствующих башен выражается следующей пропорцией: 1 : 2,24. Эти данные характерны для башен-опор радио- или телевизионных антенн, для которых преобладающая доля ветровой нагрузки возникает за счет воздействия скоростного напора ветра непосредственно на башню.

В вытяжных башнях, как правило, основная доля ветровой нагрузки возникает от давления ветра на газоотводящий ствол, и все же тип сечений элементов несущей башни оказывает также существенное влияние на общую величину ветровой нагрузки и, следовательно, на весовые показатели сооружения в целом. На основе обобщения опыта проектирования вытяжных башен установлено, что вес башни из элементов крестового сечения превосходит вес башни из элементов трубчатого про-

филя в среднем на 15—20%. Вот почему выбор профиля элементов башни должен быть достаточно четко обоснован с учетом таких показателей, как расход металла, его стоимость в зависимости от профиля, трудоемкость изготовления и монтажа, эксплуатационные показатели.

В настоящее время распространенными типами сечений основных несущих элементов вытяжных башен являются круглые профили из труб, а также крестовые или коробчатые из прокатных уголков, гнутых профилей или листовой стали (рис. 16). Трубчатые элементы выполняются из стандартных бесшов-

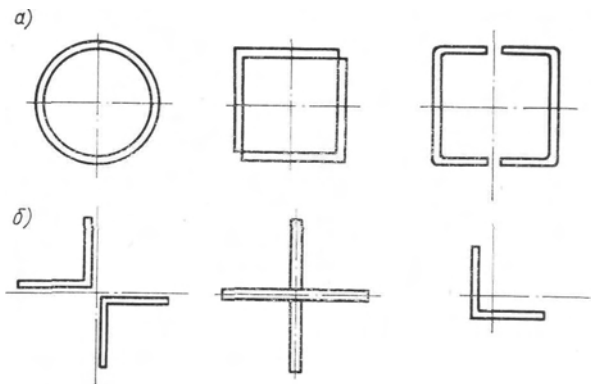


Рис. 16. Основные типы сечений элементов башни
а — замкнутые профили; б — открытые профили

ных или электросварных труб, а также при больших диаметрах (более 600 мм) из труб, получаемых путем вальцовки листового проката. Трубчатые сечения наилучшим образом отвечают требованиям, предъявляемым к элементам вытяжных башен. Они имеют минимальное сопротивление действию ветрового потока, а также наименьшую и гладкую наружную поверхность, способствующую улучшению эксплуатационных качеств сооружения, особенно при наличии в воздухе агрессивных примесей. Известные достоинства трубчатого сечения, связанные с наилучшим распределением материала в нем с точки зрения обеспечения максимальной жесткости при сжатии, также хорошо согласуются с условиями работы основных расчетных элементов сооружения.

Элементы коробчатого сечения выполняются из прокатных уголков и в отдельных случаях из тонкостенных (толщиной 10—12 мм) гнутых профилей [35, 37]. По ряду показателей (аэродинамическая характеристика, коррозионная стойкость и др.) они существенно уступают элементам трубчатого профиля, но имеют меньшую стоимость. Недостатком, препятствующим

широкому применению элементов коробчатого профиля, является относительно большая трудоемкость образования стержня такого сечения. Она обусловлена необходимостью наложения двух сплошных швов по всей длине элемента, а также необходимостью правки его в случае образования искривлений, вызванных сварочными напряжениями.

Использование гнутых профилей для образования коробчатых сечений в конструкциях вытяжных башен не нашло пока широкого применения в связи с тем, что величина сечения гнутого профиля существенно ограничена толщиной листа. Кроме того, имеющие место в гнутых профилях структурные изменения металла в местегиба отрицательно сказываются на работе конструкции, находящейся в условиях знакопеременных и динамических воздействий.

Элементы крестового сечения образуются прокатными уголками или же выполняются из листовой стали на сварке. Применение крестовых профилей для элементов несущей башни связано с повышением ветровой нагрузки на сооружение в целом как за счет увеличения наветренной площади элементов, так и за счет повышения их аэродинамического коэффициента при любом направлении действия ветрового потока. Недостатком данного типа сечения является также повышение эксплуатационных расходов на антикоррозионную защиту сооружения, что обусловлено относительно большой наружной поверхностью элементов и пониженной стойкостью их антикоррозионного покрытия из-за наличия значительного количества внутренних и внешних углов в поперечных сечениях.

Несмотря на все перечисленные недостатки, элементы крестового профиля до настоящего времени широко применяются в конструкциях вытяжных башен из-за простоты их изготовления, а также встречающихся в ряде случаев затруднений в получении трубчатых профилей требуемых сечений. Сварные крестовые профили по сравнению с крестовыми из прокатных уголков характеризуются более высокой трудоемкостью изготовления, поэтому применение их считается оправданным лишь в тех случаях, когда существующие прокатные уголки не могут обеспечить необходимую площадь поперечного сечения.

Стержни таврового сечения из двух уголков для элементов решетки несущей башни применять не рекомендуется, так как они обладают очень низкими эксплуатационными качествами в условиях агрессивной среды.

Анализ отличительных особенностей каждого из рассмотренных типов сечений позволяет рекомендовать использование для основных элементов несущих конструкций замкнутых профилей из труб круглого сечения. При некоторых условиях рациональным может оказаться сочетание различных профилей в одном сооружении, в частности, пояса — из трубчатых профилей, а решетка — из прокатных уголков.

Сечения элементов диафрагм вытяжных башен принимаются в зависимости от характера и условий работы элемента. Изгибаемые элементы большей частью выполняются из прокатных швеллеров. Если вертикальные нагрузки на диафрагмы достаточно велики (например, при опирании газоотводящего ствола на одну из диафрагм), возникает необходимость в использовании прокатных, а в ряде случаев и сварных двутавров. Сжатые элементы диафрагмы могут быть того же профиля, что и основные элементы башни, т. е. крестового, трубчатого, коробчатого.

Элементы шпренгелей выполняются, как правило, из профилей, однотипных с применяемыми для основных элементов данного сооружения. Шпренгели, а также элементы связей в нижней части башни могут быть выполнены из одиночных прокатных уголков.

Заводские и монтажные соединения поясов несущей башни.

Заводские соединения поясов несущей башни необходимы для трансформации сечения пояса по высоте сооружения в связи с изменением усилий в нем и для получения отправочного элемента требуемого размера, когда длина его превышает стандартную длину данного вида проката. Количество и расположение монтажных стыков поясов башни определяются габаритом транспортных средств и условиями монтажа сооружения. Во всех этих случаях нужно стремиться к уменьшению количества как заводских, так и монтажных стыков, поскольку они увеличивают трудоемкость изготовления конструкций и в определенных условиях могут способствовать снижению их надежности.

Заводские соединения элементов выполняются только на сварке. Монтажные соединения могут быть выполнены на монтажной сварке, высокопрочных болтах и на болтах нормальной точности, работающих на растяжение (фланцевые соединения) и на срез. Монтажные соединения на сварке для конструкций вытяжных башен получили наибольшее распространение. Вместе с тем, они достаточно трудоемки в исполнении и требуют повышенного контроля качества, особенно для сечений закрытого профиля. Использование монтажных соединений на высокопрочных болтах в определенной степени сдерживается необходимостью организации специальных работ по зачистке сопрягаемых поверхностей, контролю натяжения болтов и т. д. при относительно небольшом общем объеме этих соединений в каждом из сооружений. Фланцевые соединения поясов несущей башни (рис. 17) также имеют достаточно широкое распространение для сечений закрытого профиля [26, 49, 51]. Вместе с тем, к их применению при значительной величине растягивающих усилий в поясах башни следует подходить с определенной осторожностью. Опыт эксплуатации вытяжных башен показал, что в ряде случаев в таких соединениях появляются усталостные трещины металла поясов в околошовной зоне сопряжения

фланца с трубой. Прогрессивным соединением поясов несущей башни является сопряжение их на болтах нормальной точности, работающих на срез. Такие монтажные соединения позволяют резко снизить трудоемкость монтажа сооружения, однако требуют дополнительной экспериментальной проверки их работы в условиях знакопеременной нагрузки.

В решетчатых конструкциях башенного типа монтажные стыки обычно совмещаются с центром узла крепления решетки. Однако практика проектирования вытяжных башен показала, что в силу сложности конструктивного решения этих узлов и возникновения в них значительных усилий целесообразнее мон-

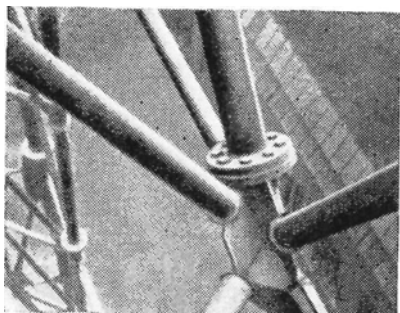


Рис. 17. Фланцевое соединение пояса башни из труб

тажный стык поясов располагать вне узлов крепления решетки, на высоте 1—1,5 м над уровнем диафрагмы.

Изменение сечения по длине элемента осуществляется преимущественно в заводских условиях и лишь в отдельных случаях на монтаже. Оно может быть достигнуто либо за счет изменения габарита сечения, либо — его толщины.

В поясах, выполненных из труб, стыки, связанные с трансформацией сечения только за счет изменения толщины стыкуемых элементов, осуществляются как в заводском исполнении, так и в монтажном. Трубы разных диаметров целесообразно соединять только в заводских условиях.

Соединение трубчатых элементов одинакового диаметра в заводских условиях выполняется сваркой встык на остающейся подкладке (рис. 18, а). Элементы разного диаметра можно соединять сваркой встык через специальную коническую вставку (рис. 18, б) или путем заводки трубы меньшего диаметра и врезанного в нее креста в трубу большего диаметра (рис. 18, в).

Заводские содинения труб разного диаметра посредством конической вставки особенно целесообразны для поясов значительного диаметра (800—1400 мм) с большими усилиями. Вместе с тем при относительно малых толщинах стыкуемых элементов ($\delta/R \leq 1/100$) такой стык, представляющий собой сопряжение тонкостенных оболочек разной формы, требует дополнительной проверки на местную устойчивость и краевой эффект. С целью снижения концентрации напряжений в местах краевого эффекта длина конической вставки должна достигать таких размеров, чтобы уклон конуса составлял $1/5$ — $1/7$. Оба сты-

куемых элемента в местах сопряжения с конической вставкой усиливаются утолщенными манжетами (рис. 18, б).

Наиболее распространенные варианты монтажных стыков поясов из труб представлены на рис. 19: это фланцевые соединения (рис. 19, а), соединения встык на остающейся подкладке

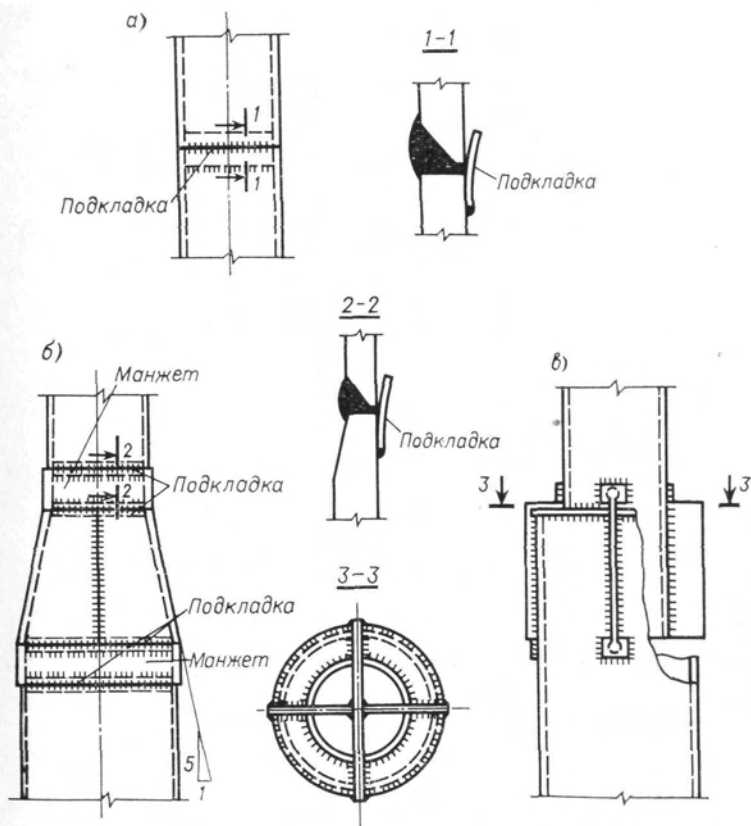


Рис. 18. Заводские соединения элементов из труб

а — встык на остающейся подкладке; б — встык через коническую вставку; в — через врезной сварной крест

по типу заводских стыков, соединения встык через врезной сварной крест (рис. 19, б), соединения через врезные кресты на высокопрочных болтах (рис. 19, в), соединения с помощью угольных накладок на сварке или высокопрочных болтах (рис. 19, г). Кроме перечисленного, монтажный стык может быть выполнен и по типу соединения, изображенного на рис. 18, в. Из сварных монтажных стыков элементов одинакового диаметра следует рекомендовать соединение встык на остающейся подкладке, являющееся наиболее экономичным и простым в изготовлении.

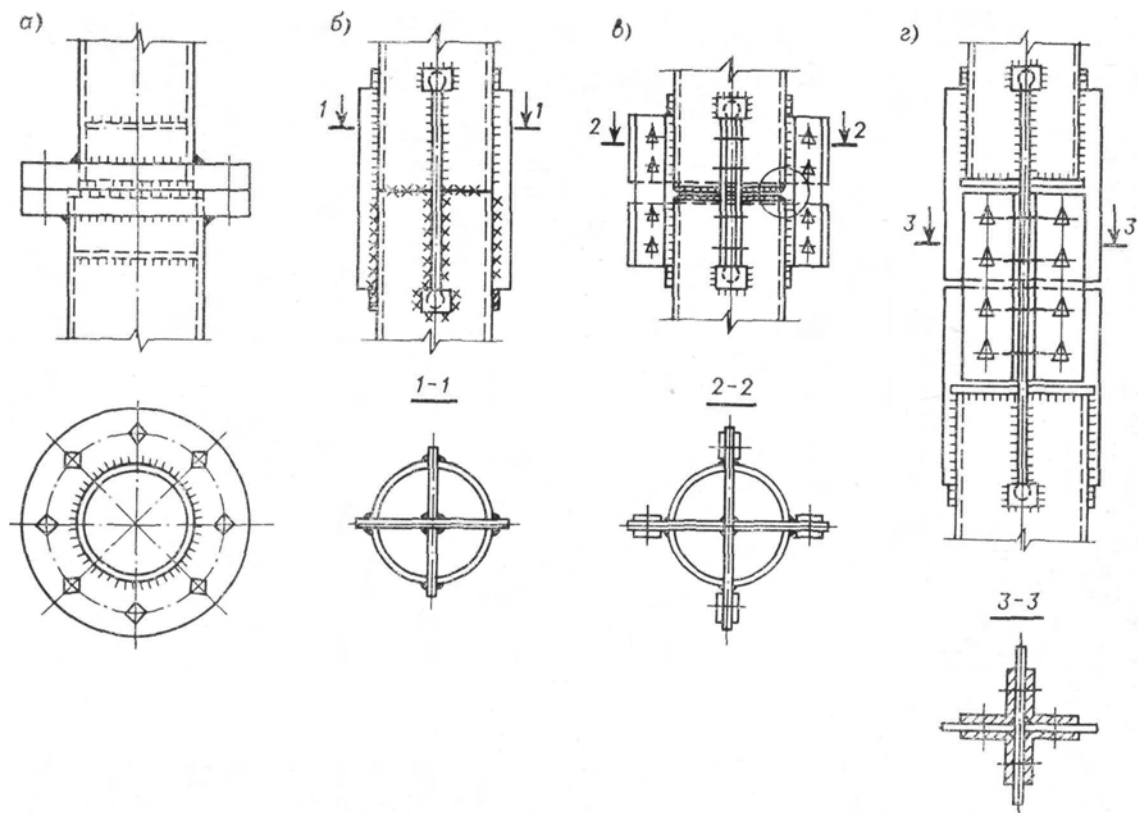


Рис. 19. Монтажные стыки поясов из труб

a — фланцевое соединение; *б* — соединение встык через врезной крест; *в* — соединение через врезные кресты на листовых накладках; *г* — соединение на угловых накладках

Фланцевое соединение можно считать достаточно надежным в сопряжении труб диаметром до 400 мм и при растягивающих усилиях, не превышающих 2МН. Разность диаметров труб, соединяемых на фланцах, не должна превышать 50 мм.

Применяющееся в отдельных случаях в качестве монтажного стыка соединение труб на болтах через торцевые заглушки, усиленные вертикальными ребрами, не может быть рекомендовано для применения в конструкциях вытяжных башен по причине недостаточной их надежности и большой трудоемкости исполнения.

В поясах крестового профиля соединения элементов с разными толщинами большей частью совмещаются с заводским стыком, а изменение сечений по габариту — с монтажным. Заводские и монтажные стыки элементов крестового поперечного сечения из прокатных уголков осуществляются на сварке или высокопрочных болтах с помощью уголковых или листовых накладок (рис. 20, а, б, в). Для заводского соединения элементов крестового поперечного сечения из листовой стали применяется сварка встык. Монтажные стыки таких элементов аналогичны стыкам элементов из прокатных уголков и выполняются на уголковых или полосовых накладках на сварке или высокопрочных болтах (рис. 20, г).

Узлы перелома поясов. Места изломов поясов башни при переходе пирамидальной части башни в призматическую или пирамидальную с меньшим уклоном пояса являются ответственными и достаточно сложными узлами. С целью упрощения решения таких узлов в первую очередь следует стремиться к уменьшению общего количества элементов, сходящихся в этих узлах. По этой причине в башнях с ромбической решеткой целесообразнее всего излом пояса осуществлять в месте примыкания основной распорки. В этом случае в узле будут отсутствовать основные раскосы башни и могут сходиться лишь элементы шпренгелей. Если при ромбической решетке по каким-либо условиям необходимо перелом пояса совместить с узлом примыкания основных раскосов, в месте сопряжения должна быть установлена дополнительная распорка. В непосредственной близости от узла излома пояса обычно размещается его монтажный стык, который может быть вынесен за пределы узла или совмещен с ним.

Наиболее распространенной в практике проектирования конструкцией узла излома поясов из труб является решение, представленное на рис. 21. Такое решение позволяет наиболее просто осуществить соединение трубчатых элементов встык на остающейся подкладке. Однако такой стык имеет и некоторые недостатки. Прежде всего, это несовпадение линии изгиба фасонки для крепления распорок к поясам башни с плоскостью стыка труб. Несмотря на то, что несовпадение является, как правило, незначительным, все же оно нарушает общую геометрию узла

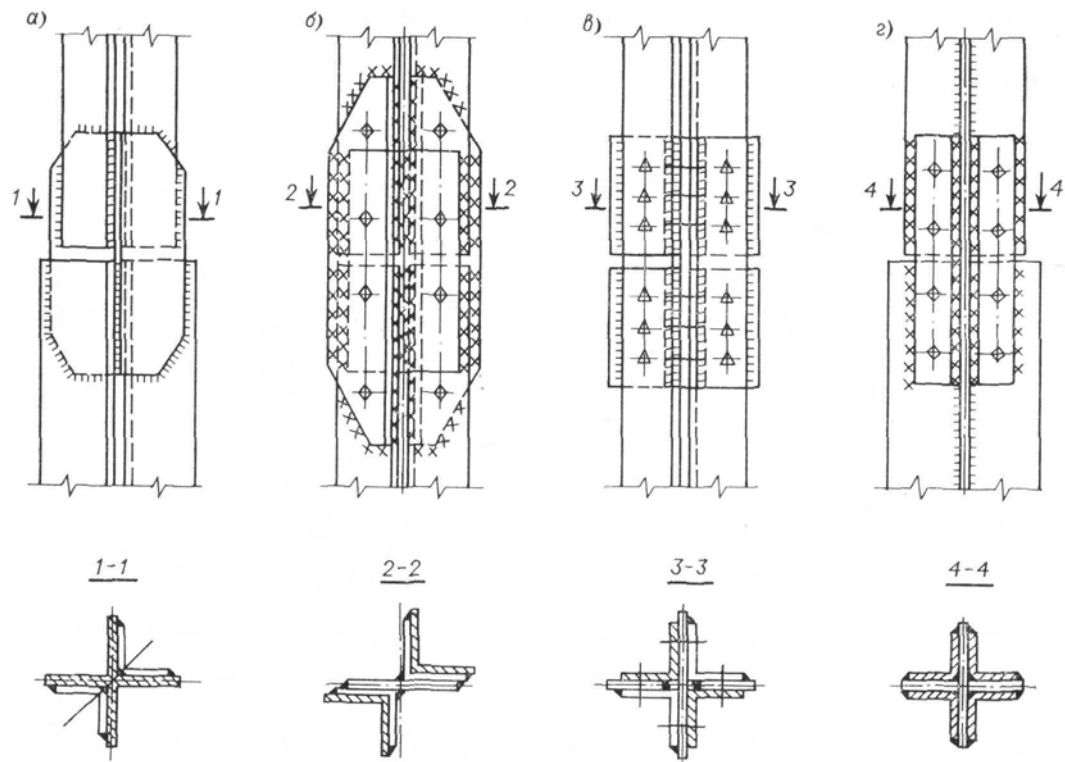


Рис. 20. Заводские и монтажные соединения элементов крестового сечения
a — заводской стык на угольковых накладках; *б* — то же, монтажный; *в* — стык на высокопрочных болтах; *г* — монтажный стык крестового сечения из листовой стали

и не дает возможности добиться соответствующей точности при-
мыкания элементов. Недостатком этого соединения является
также необходимость изготовления для распорки трубчатого се-
чения специальной гнутой «лапы». С целью снижения concentra-

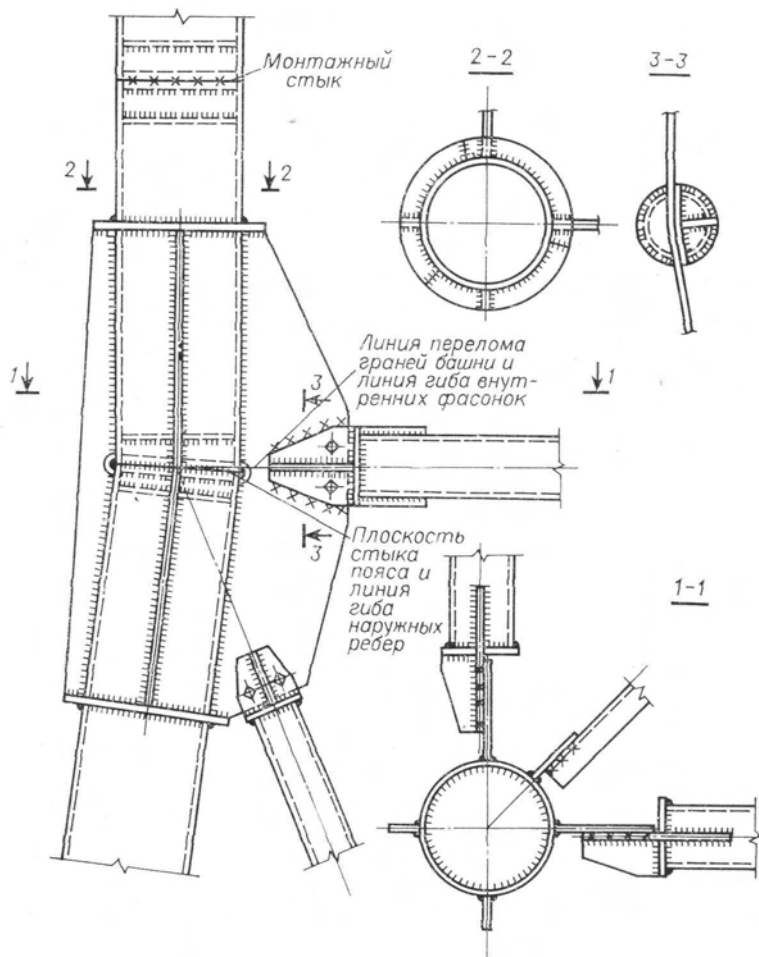


Рис. 21. Узел перелома пояса из труб, соединенных встык

ции напряжений в узле оба стыкуемых участка трубы в месте перелома пояса укрепляются внутренними ребрами (диафрагмами).

Некоторые недостатки рассмотренного выше решения узла перелома поясов трубчатого сечения исключаются при переходе в узле на сварной врезной крест. Здесь линии изгиба всех

элементов находятся в горизонтальной плоскости и совпадают с линиями перелома граней башни. Усилия в поясе передаются с трубы через фланговые швы на сварной крест, и поэтому стык непосредственно труб носит уже чисто конструктивный характер. В месте стыка труб устанавливается горизонтальное ребро-заглушка, состоящее из четырех отдельных секторов. Элементы решетки крепятся к развитым стенкам врезного креста или к специальным фасонкам меньшей толщины, приваренным к кресту встык.

При решении узла излома поясов посредством врезного сварного креста монтажное соединение поясов может быть выполнено, как и в предыдущем случае, встык за пределами уголовой фасонки, а также в ее пределах на уголковых накладках по типу соединения, изображенного на рис. 19, г. В последнем случае несколько повышается трудоемкость изготовления за счет увеличения количества деталей, а также нарушается единообразие формы сечения и целостность элемента, снижающая коррозионную стойкость узла.

В отличие от приведенных выше решений узлов излома поясов трубчатого сечения, в которых стыкуемые в узле элементы пояса дополняются ребрами или заменяются крестом, можно это соединение выполнить на сварке встык посредством сплошной прокладки (рис. 22). Это решение может быть допущено только при полной уверенности, что не произойдет расслоения металла прокладки под действием растягивающих сил. Узел образуется первоначальной приваркой к прокладке специальных обрезков труб с целью обеспечения условий для наложения качественного двустороннего заводского шва. Этот вариант узла имеет по сравнению с ранее рассмотренными некоторые преимущества, заключающиеся в уменьшении расхода металла, снижении трудоемкости изготовления, а также в исключении гнутой «лапы» благодаря опиранию распорки на горизонтальную фасонку.

В башнях из трубчатых элементов, где принято бесфасоночное решение основных узлов, место перелома пояса усиливается внутренней заглушкой, воспринимающей горизонтальную составляющую усилий и обеспечивающей неизменяемость контура сечения. В зависимости от конкретных условий работы узла в целях повышения его надежности иногда применяется местное заполнение участка пояса, прилегающего к месту перелома, безусадочным бетоном, аналогично рис. 27, в.

Узлы излома поясов крестового поперечного сечения решаются значительно проще, чем трубчатого. Если пояс выполнен из прокатных уголков, в месте излома пояса уголки прерываются и заменяются сварным крестом, выполняющим функции и пояса и фасонки для крепления элементов решетки (рис. 23). Монтажное соединение поясов может быть либо совмещено с узлом, либо выполнено выше узла на уголковых или листовых

накладках. Узел перелома пояса крестового сечения, сваренного из листовой стали, отличается от предыдущего лишь тем, что крест, образующий собственно узел, является непосредственным продолжением листов пояса и соединяется с ним встык.

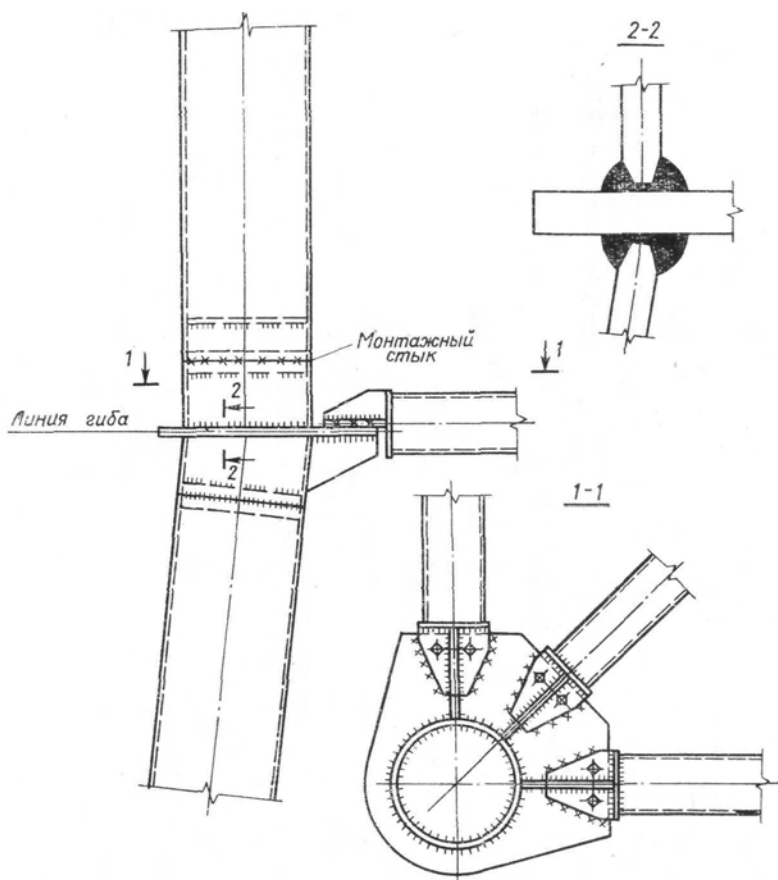


Рис. 22. Узел перелома пояса из труб, состыкованных через сплошную прокладку

Опорные узлы несущей башни. Несущая конструкция вытяжной башни по статической схеме представляет собой консольный стержень, закрепленный в основании. Закрепление четырехгранной башни на фундаменте осуществляется четырьмя опорными узлами, в каждом из которых сходятся один из поясов башни и два раскоса смежных граней. Через опорный узел башни на фундамент передаются нормальная и перерезывающая силы. В зависимости от направления ветрового потока нормальная

сила может быть сжимающей или растягивающей. Сжимающая сила передается на фундамент через опорную плиту, растягивающая, как правило, воспринимается анкерными болтами. В ряде случаев возможно восприятие растягивающих сил специальными закладными деталями, применение которых может

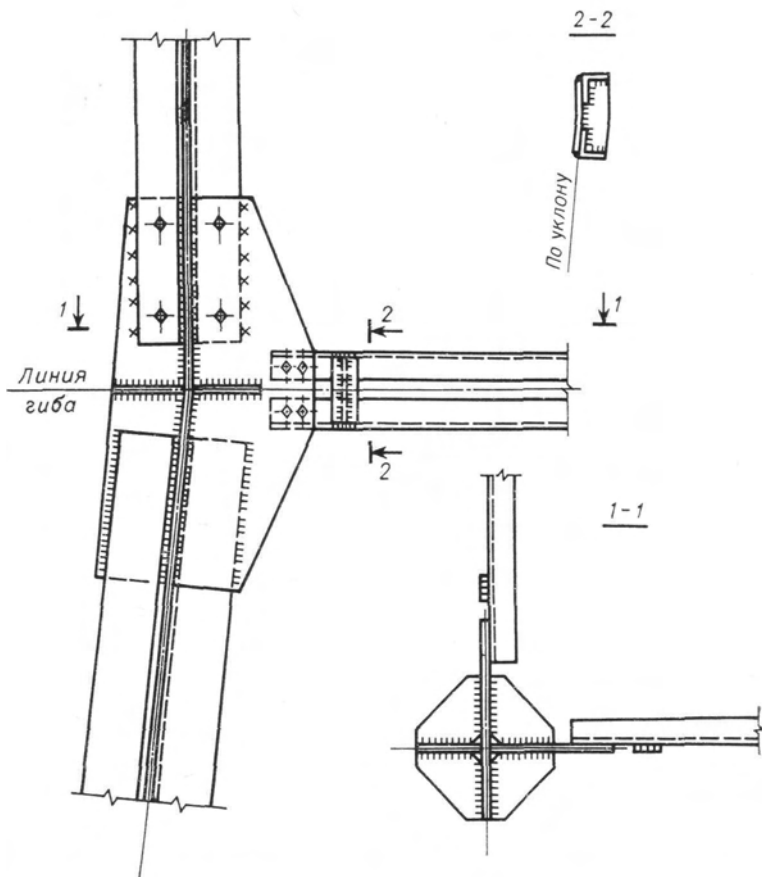


Рис. 23. Узел перелома пояса крестового сечения из прокатных уголков

оказаться целесообразным, в первую очередь, для строительства в районах с расчетной температурой ниже -40°C .

В нижней пирамидальной части башни ее пояса и грани имеют определенный уклон в пространстве. При малых усилиях в опорном узле опорная плита может быть установлена горизонтально (рис. 24). Это значительно упрощает производство работ по установке и заделке анкерных болтов в фундаментах и поз-

воляет осуществлять монтаж сооружения методом поворота. Однако при этом появляется необходимость крепления анкерных болтов непосредственно за опорную плиту, что возможно только при небольших усилиях (до 1 МН). Наиболее четкая передача

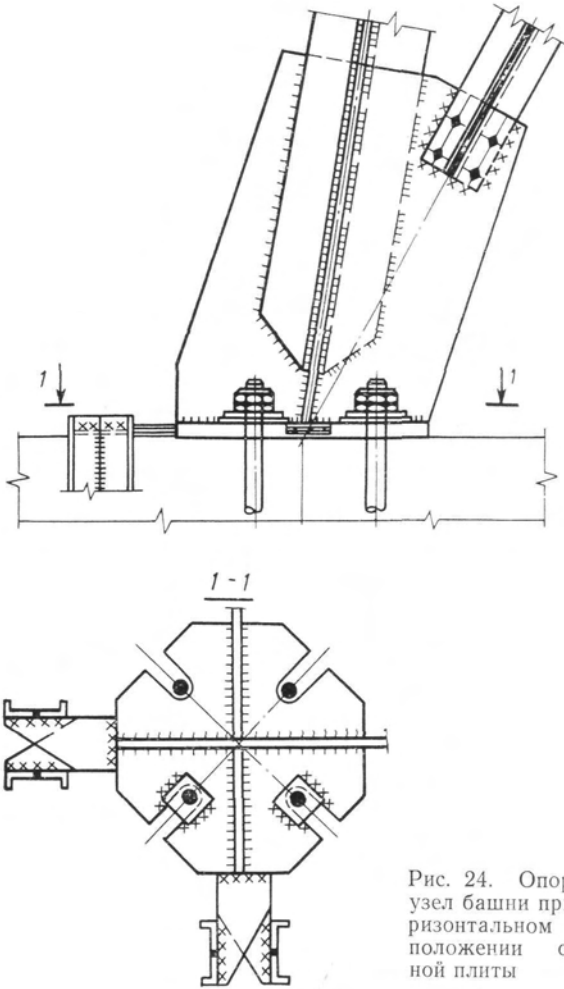


Рис. 24. Опорный узел башни при горизонтальном расположении опорной плиты

усилий и более рациональные условия изготовления опорного узла достигаются при установке опорной плиты перпендикулярно оси пояса, а анкеров — параллельно ему (рис. 25, 26). Такое решение, являющееся более надежным, получило в практике строительства вытяжных башен большой высоты широкое распространение. Монтаж сооружения методом поворота в таком случае может быть выполнен при использовании съемных

анкерных болтов, сопрягаемых с закладными деталями на специальных муфтах.

При подборе сечений анкерных болтов следует стремиться к минимальному их количеству (но не менее четырех), одно-

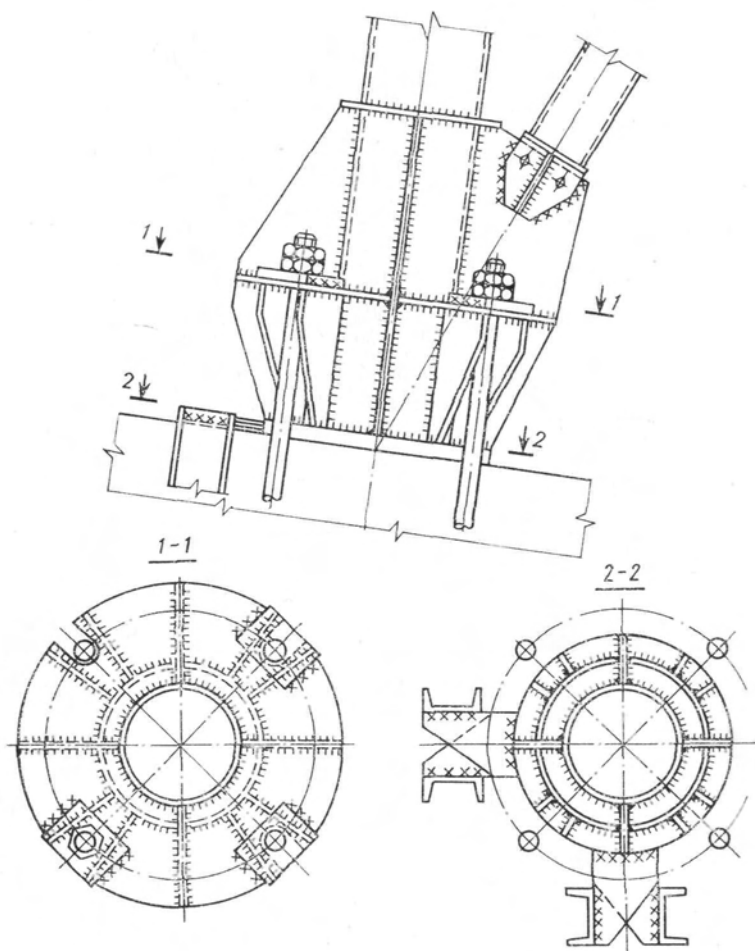


Рис. 25. Опорный узел башни из элементов трубчатого сечения с четырьмя анкерными болтами

временно необходимо учитывать, что диаметр анкеров обычно не должен превышать 90—100 мм. В тех случаях, когда четырех анкерных болтов таких размеров оказывается недостаточно, из конструктивных соображений их количество увеличивают до восьми (рис. 26).

Горизонтальная неподвижность опорного узла обеспечивается специальными закладными элементами, соединение которых с опорной плитой работает на сдвиг. Закладные элементы ус-

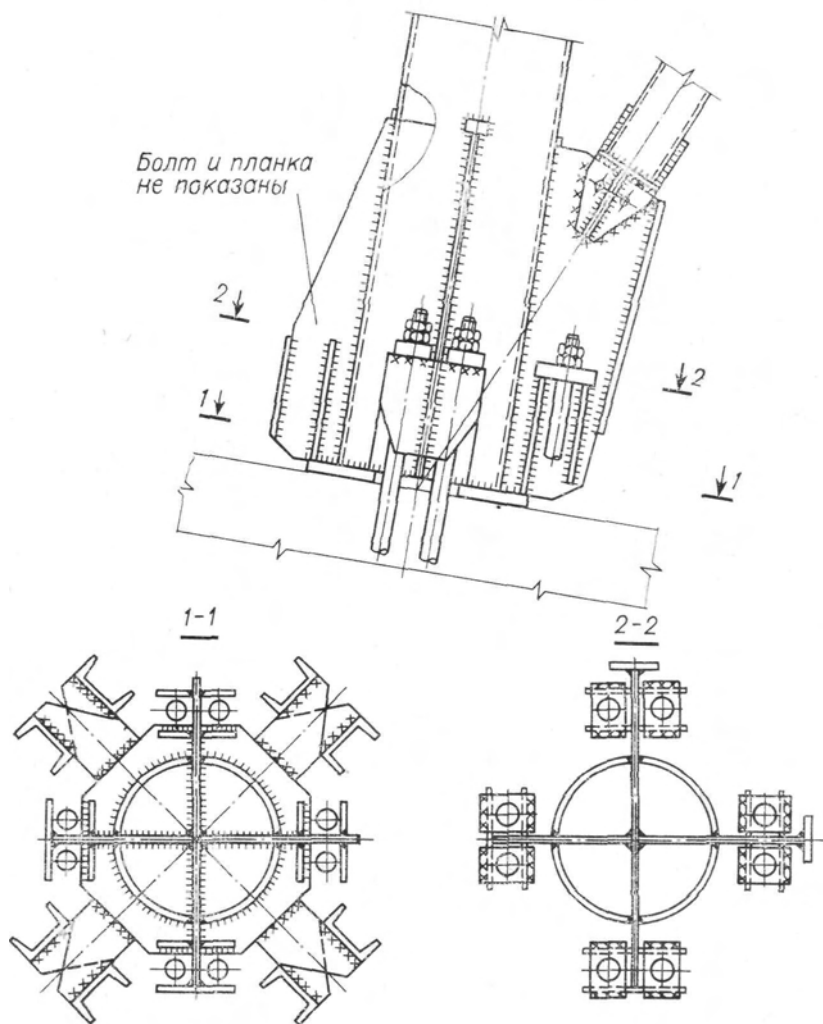


Рис. 26. Опорный узел башни большой высоты из элементов трубчатого сечения с восьмью анкерными болтами и прорезными фасонками

ганавливаются, как правило, в плоскостях граней башни, при этом желательно ограничиваться только двумя закладными деталями, располагаемыми с внешней стороны башни (см. рис. 24, 25). В исключительных случаях допускается установка четырех

закладных деталей (рис. 26). Каждая из деталей представляет собой заложенные в фундамент два швеллера, повернутые друг к другу стенками. Возможно решение закладной детали, передающей горизонтальную составляющую на фундамент в виде так называемой «шпоры», представляющей собой обрезок трубы или крестовину, приваренную заводскими швами в центре опорной плиты с нижней стороны. Применение этой детали усложняет производство работ и контроль их качества, поэтому, если горизонтальная реакция превышает 0,1 МН, решение со «шпорой» не рекомендуется.

Передача усилий от пояса и раскосов к элементам опорного узла, непосредственно связанным с фундаментом, осуществляется через систему ребер и траверс. Ребра, расположенные в плоскости граней башни, служат одновременно фасонками для крепления опорных раскосов. На рис. 25, 26 приведены наиболее характерные решения опорных узлов вытяжных башен, выполненных из элементов трубчатого сечения. Опорный узел в башнях из элементов крестового сечения может быть выполнен по типу рис. 25.

Узлы крепления решетки к поясам несущей башни. Решетка несущей башни передает значительные по величине перерезывающие силы, возникающие от действия ветровой нагрузки. Для обеспечения четкой передачи этих усилий в узлах крепления решетки к поясам несущей башни раскосы, как правило, центрируются на ось пояса. Наиболее распространено крепление решетки через вертикальные фасонки, раскрепленные горизонтальными ребрами жесткости и приваренные к поясам башни заводскими швами. Крепление решетки к узловым фасонкам осуществляется на болтах нормальной точности, монтажной сварке и реже — на высокопрочных болтах.

Наиболее часто встречающиеся решения узла крепления раскосов к поясам несущей башни представлены на рис. 27—29. При решении по типу, изображенному на рис. 27, а, к поясу в плоскостях граней башни приваривают по образующим две фасонки, связанные между собой горизонтальным ребром. По торцам узловых фасонки устанавливают кольцевые ребра жесткости, раскрепляющие пояс от потери устойчивости и воспринимающие усилия от изгибающего момента в месте расположения продольного шва приварки фасонки к поясу башни. Концы трубчатых раскосов заканчиваются специальной «лапой», которая при небольшом диаметре раскоса (до 250 мм) и небольшом усилии в нем (до 0,2 МН) может привариваться непосредственно к торцевой заглушке с внутренним ребром (рис. 27, а, 28). В других случаях фасонка «лапы» должна быть заведена в прорезь раскоса (рис. 27, б, 29). При больших диаметрах сечения пояса раскосы, центрированные в узле, оказываются значительно удаленными друг от друга, что требует для их прикрепления развитой фасонки. В таких случаях целесообразно

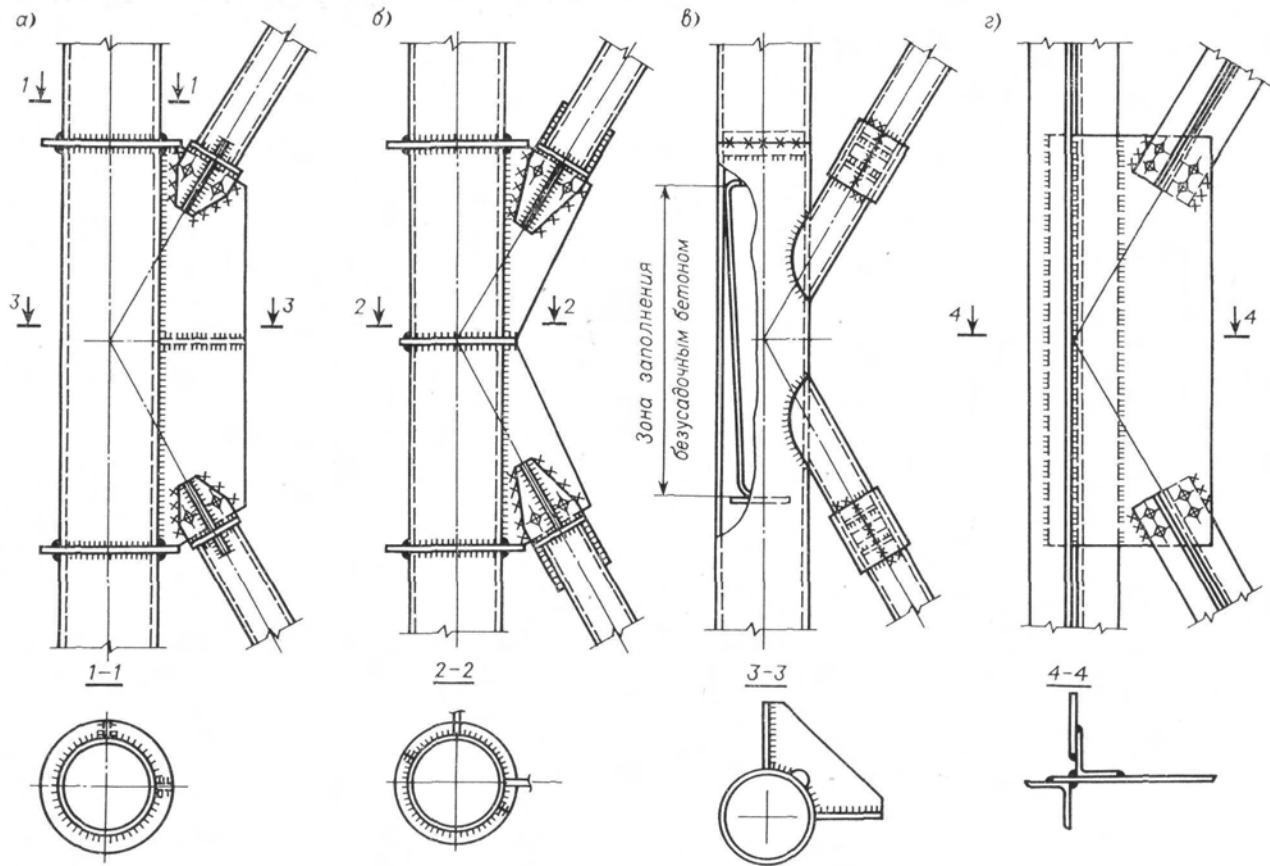


Рис. 27. Узлы крепления решетки к поясу башни

делать отдельные фасонки для каждого из раскосов грани и стыковать их друг с другом через дополнительное кольцевое ребро (рис. 27, б). Это в некоторой степени уменьшает наветренную площадь сооружения и снижает расход стали на фасонки за счет более экономного раскроя листа.

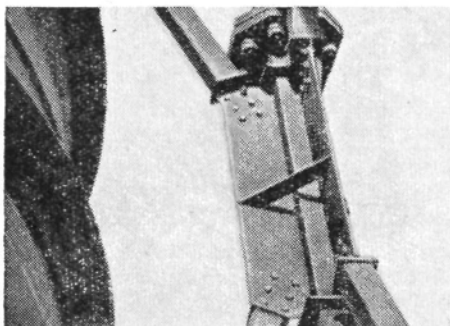


Рис. 28. Узел башни с элементами коробчатого сечения из прокатных уголков

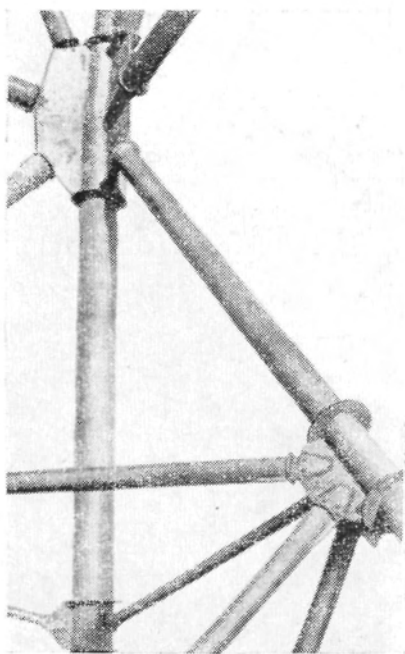


Рис. 29. Крепление решетки трубчатого сечения к поясам башни

В последнее время все чаще стали применяться бесфасоночные узлы сопряжения элементов из труб [1, 29, 59]. В этом случае к поясу башни в заводских условиях приваривают специальные выпуски (обрезки труб того же диаметра, что и раскосы), к которым на монтаже присоединяют раскосы с помощью двух полубандажей (рис. 27, в, 30). Такое решение является наиболее экономичным и точным, однако оно при определенных отношениях диаметров и толщин элементов поясов и раскосов и требует особой тщательности производства работ при изготовлении и монтаже конструкций. Если соотношения таких размеров не удовлетворяют требованиям прочности и местной устойчивости стенки трубы, бесфасоночный узел должен быть соответствующим образом усилен. Одним из возможных приемов усиления узла является заполнение бетоном участка пояса башни в пределах наличия местных напряжений, вызванных воздействием примыкающих раскосов (см. рис. 27, б). Примыкание раскосов к поясам башни крестового сечения из прокатных уголков осуществляется через обычные фа-

сонки, одна из которых пропускается между уголками пояса, вторая не доходит до оси и приваривается только к одному из уголков, образующих пояс (см. рис. 27, г). Если крестовое сечение пояса башни выполнено сварным из листовой стали, фасонки, необходимые для крепления раскосов, привариваются заводскими швами к поясу встык.

Узлы пересечения элементов решетки. Узлы пересечения элементов решетки отличаются весьма большим многообразием возможных вариантов их решения. Это обстоятельство объясняется целым рядом факторов, наиболее существенным из которых можно считать наличие большого количества различных по назначению и условиям работы элементов, сходящихся в этих узлах. К ним относятся распорки, раскосы, элементы диафрагм и площадок. Каждый из элементов, сходящихся в узле, имеет определенный угол наклона в пространстве и может иметь свой, отличный от других, тип сечения. При этом элементы диафрагм в зависимости от условий их работы могут передавать в узлы не только осевые усилия, но и вертикальные реакции. На вид конструктивного решения этого узла влияет также и то, в какой части сооружения этот узел расположен: в призматической, пирамидальной или в месте перелома граней.

Существует два принципиально различных варианта конструктивного решения узла пересечения элементов решетки: 1) горизонтальная распорка является сквозной и в узле не прерывается (рис. 31); 2) распорка в узле прерывается и заменяется системой фасонки и ребер (рис. 32—34).

Некоторой разновидностью узла первого типа может быть узел с местным вырезом (на половину сечения) распорки. Выбор того или иного типа распорки обуславливается конструктивными соображениями, зависящими от сечения распорки, ее длины, а также от характера работы примыкающих элементов диафрагмы и их сечений.

В приведенных выше вариантах узлов пересечения элементов решетки даны некоторые из наиболее характерных решений, встречающиеся в практике проектирования. С точки зрения надежности работы конструкций все эти варианты примерно равноценны, вследствие чего при выборе определенного решения в каждом конкретном случае следует руководствоваться

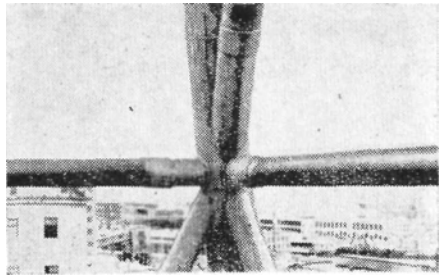


Рис. 30. Бесфасоночный узел соединения элементов башни круглого трубчатого сечения

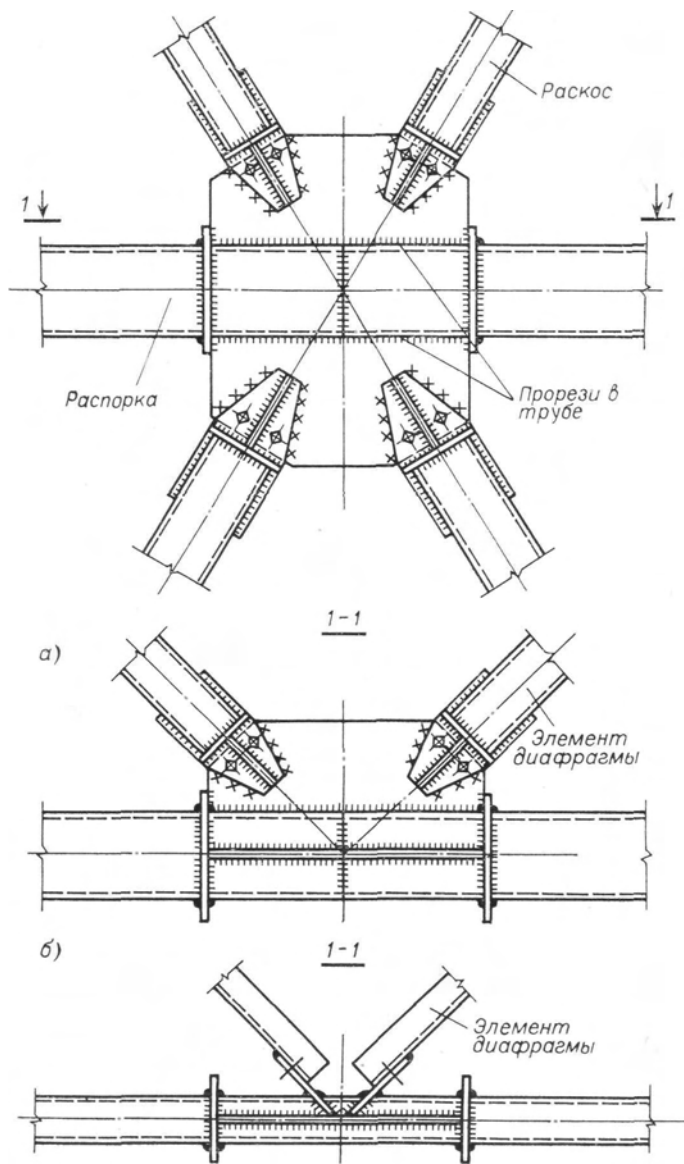


Рис. 31. Узел пересечения элементов решетки при сквозной распорке трубчатого сечения
 а — при работе элементов диафрагмы на осевое усилие; б — при работе элементов диафрагмы на изгиб

принципом наилучшего удовлетворения требованиям коррозионной стойкости, минимальной трудоемкости и соответствия общему стилю решения всех узлов сооружения.

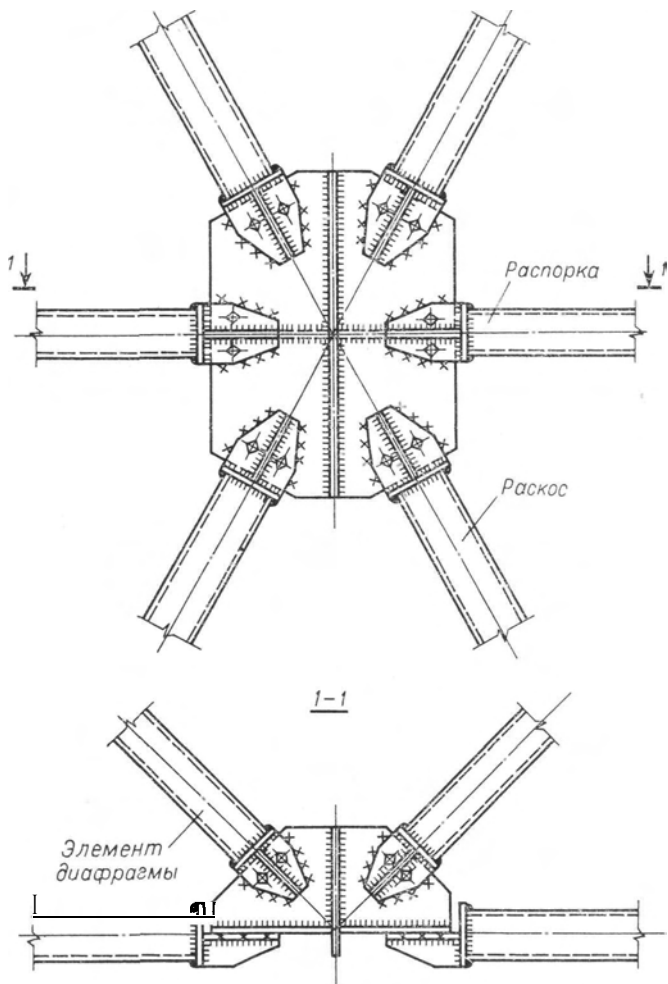


Рис. 32. Узел пересечения элементов решетки (распорка трубчатая с монтажным соединением в узле)

Основные конструктивные решения узлов в зависимости от типа распорки достаточно четко видны из рисунков и поэтому не требуют специальных пояснений. Следует лишь отметить некоторые их особенности. Так, в приведенном на рис. 31 решении в зависимости от действующих в раскосах усилий вертикальная

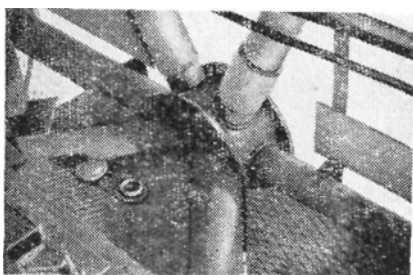
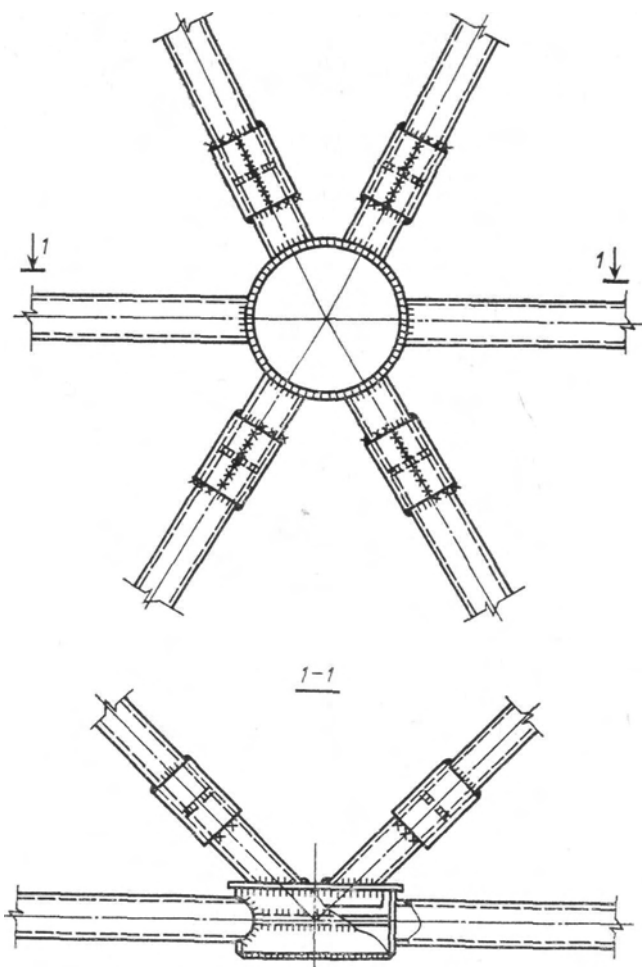


Рис. 33. Сопряжение элементов
решетки и диафрагмы посред-
ством кольцевого диска



фасонка может быть и не прорезной. В этом случае заводской стык распорки в пределах узловой фасонки может отсутствовать.

При конструировании узла по типу решения, представленного на рис. 32, обе части распорки могут крепиться к узловой фа-

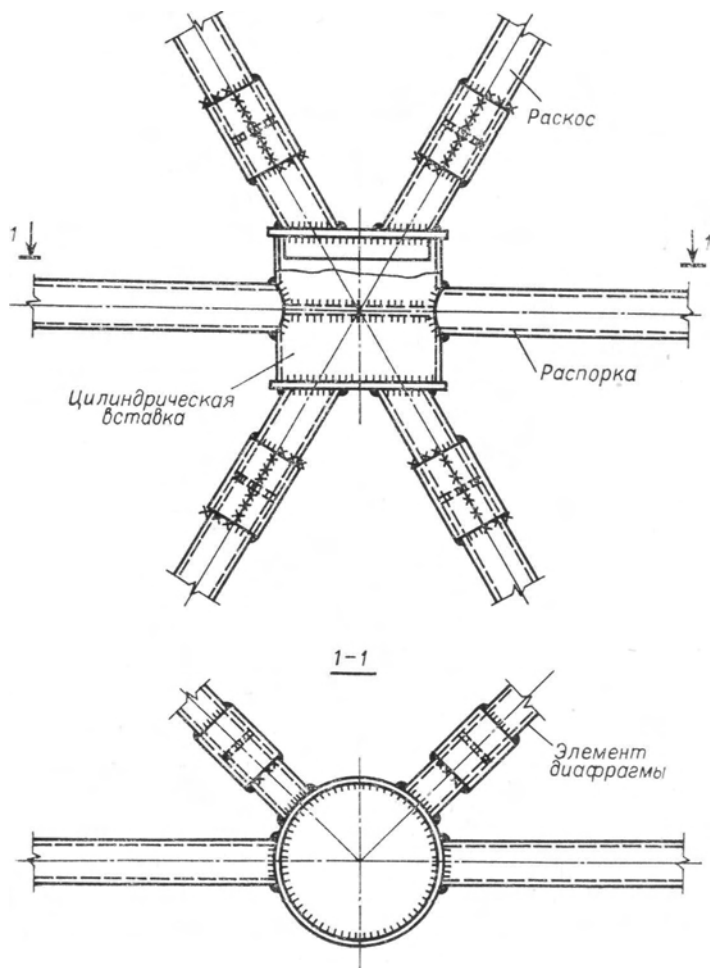


Рис. 34. Узел пересечения элементов решетки при бесфасоночном решении с применением цилиндрической вставки

сонке на заводской сварке; фасонки же для крепления раскосов и элементов диафрагм при необходимости, вызванной условиями монтажа, могут быть разрезаны по вертикали и соединены на монтаже сваркой встык или на накладках.

Элементы диафрагм в зависимости от характера передаваемых ими усилий могут крепиться как на горизонтальных, так и на вертикальных фасонках. Для элементов, работающих только

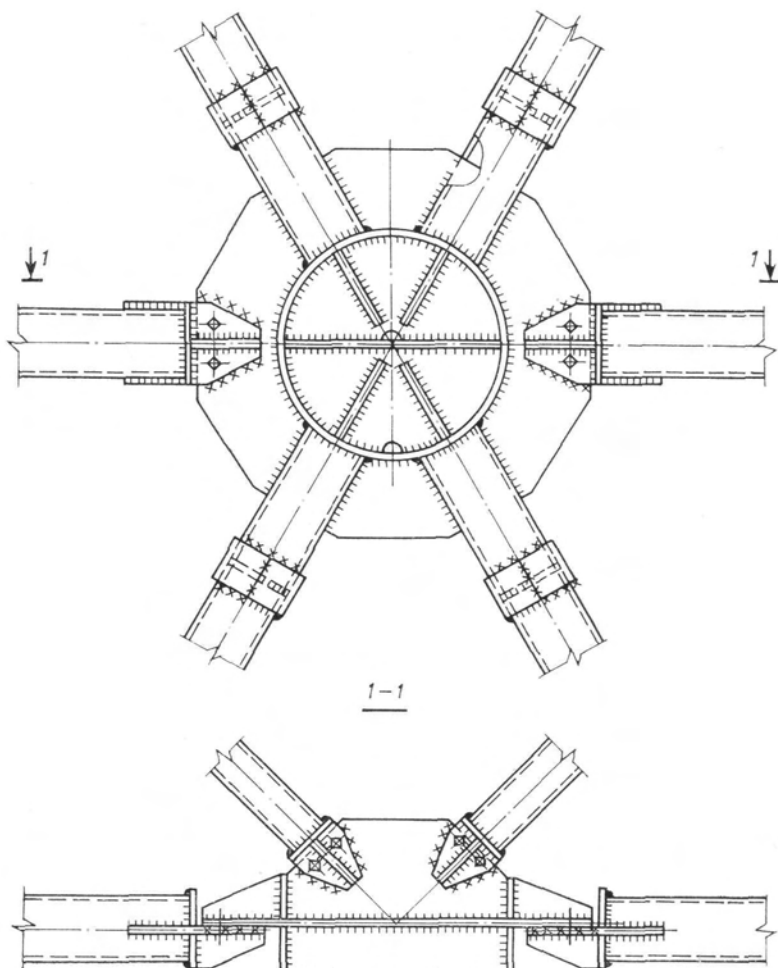


Рис. 35. Узел пересечения элементов решетки большого диаметра со значительными усилиями

на осевое усилие, предпочтительнее крепление на горизонтальных фасонках, поскольку в этом случае создаются лучшие условия для поэлементного монтажа конструкций. Элементы, работающие на сжатие с изгибом, требуют крепления на вертикальных фасонках, при этом в зависимости от величины верти-

кальной опорной реакции крепление может быть осуществлено через одиночную вертикальную фасонку либо с дополнительной вертикальной накладкой, привариваемой на монтаже.

Одним из вариантов узла пересечения элементов решетки может быть узел со специальным сварным кольцевым диском (см. рис. 33) или специальной цилиндрической вставкой (рис. 34). Узел, изображенный на рис. 35, является некоторым видоизменением бесфасоночного узла с кольцевым диском (рис. 33). Он наиболее целесообразен при сопряжении в узле элементов большого диаметра со значительными усилиями.

Известны и получившие распространение за рубежом (ФРГ, Япония [21]) узловые сопряжения трубчатых элементов в виде шаров, полушарий и штампованных или литых деталей, довольно сложных по конфигурации многогранных вставок. Для их использования в отечественной строительной практике должна быть разработана специальная технология и создана соответствующая производственная база.

§ 3. Решения узлов газоотводящего ствола

Узлы опирания газоотводящего ствола на несущую башню. Решения узлов опирания ствола, находящегося под воздействием горизонтальных и вертикальных нагрузок, как правило, предполагают раздельную передачу этих воздействий на несущую башню; при этом учитывается необходимость обеспечения свободы вертикальных перемещений ствола от температурных деформаций.

По мере накопления опыта проектирования, строительства и эксплуатации вытяжных башен конструкции узлов опирания газоотводящего ствола совершенствовались, их решения упрощались. Все многообразие этих решений может быть сведено к четырем основным типам, отличающимся характером передачи горизонтального и вертикального воздействий и средством обеспечения свободы вертикальных перемещений.

Первый тип: газоотводящий ствол опирается на каждую диафрагму с совмещенной передачей со ствола на башню горизонтального и вертикального воздействий. Температурные перемещения погашаются устройством специальных компенсаторов вблизи узла опирания каждой секции газоотводящего ствола (рис. 36).

Второй тип: газоотводящий ствол целиком опирается на диафрагму, расположенную в нижней части сооружения (по типу решения, изображенного на рис. 15, г), или на собственный фундамент или вспомогательную опору (см. рис. 15, а, б, в). Горизонтальные силы передаются в плоскости нескольких или всех диафрагм, обеспечивая свободу вертикальных температурных перемещений газоотводящего ствола с помощью специальных катков (рис. 37).

Третий тип: газоотводящий ствол опирается на несущую башню и передает вертикальные и горизонтальные нагрузки на башню раздельно, но, в отличие от предыдущего, однотипным ре-

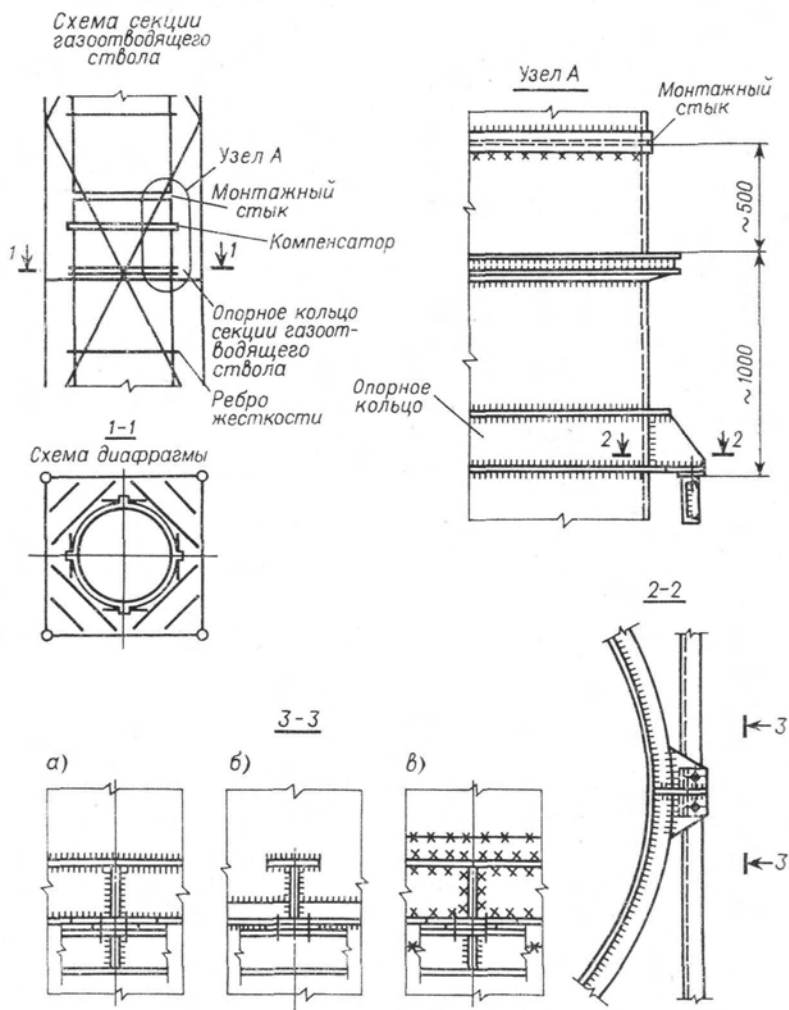


Рис. 36. Опирание газоотводящего ствола с совмещенной передачей вертикальных и горизонтальных сил
 а — через кольцевую балку; б — отдельными «лапами»; в — через усиленную кольцевую балку

шением — тяжами (рис. 38). Вертикальная нагрузка передается через подвеску газоотводящего ствола на наклонных тяжах в одном из ярусов нижней части башни, а горизонтальная —

горизонтальными тяжами в уровне основных узлов примыкания решетки к поясам башни.

Четвертый тип: ствол целиком опирается на диафрагму в нижней части сооружения и передает на нее вертикальную на-

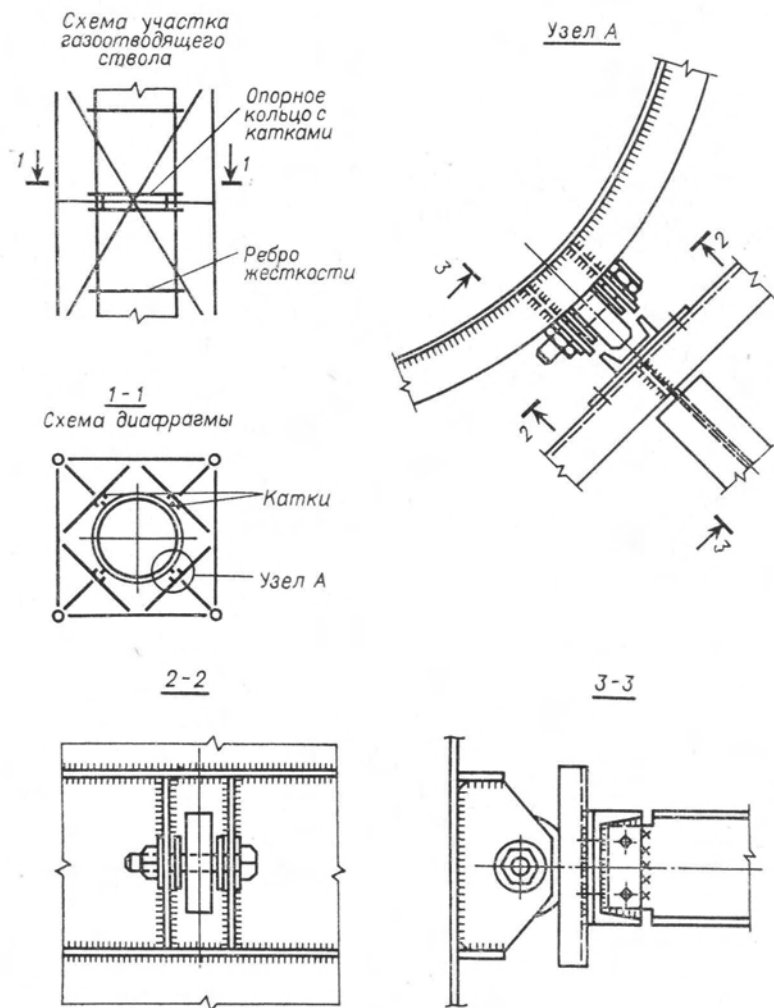


Рис. 37. Узел передачи горизонтальной нагрузки при помощи катков

грузку. Горизонтальные силы передаются в плоскостях диафрагм башни через специальные скользящие упоры (рис. 39).

Вполне естественно, что каждый из этих типов опирания газотводящего ствола на несущую башню при сохранении их

принципиальных решений допускает варьирование отдельных элементов и деталей узлов, обусловленное величиной передаваемых сил, материалом конструкций и принятым способом изгото-

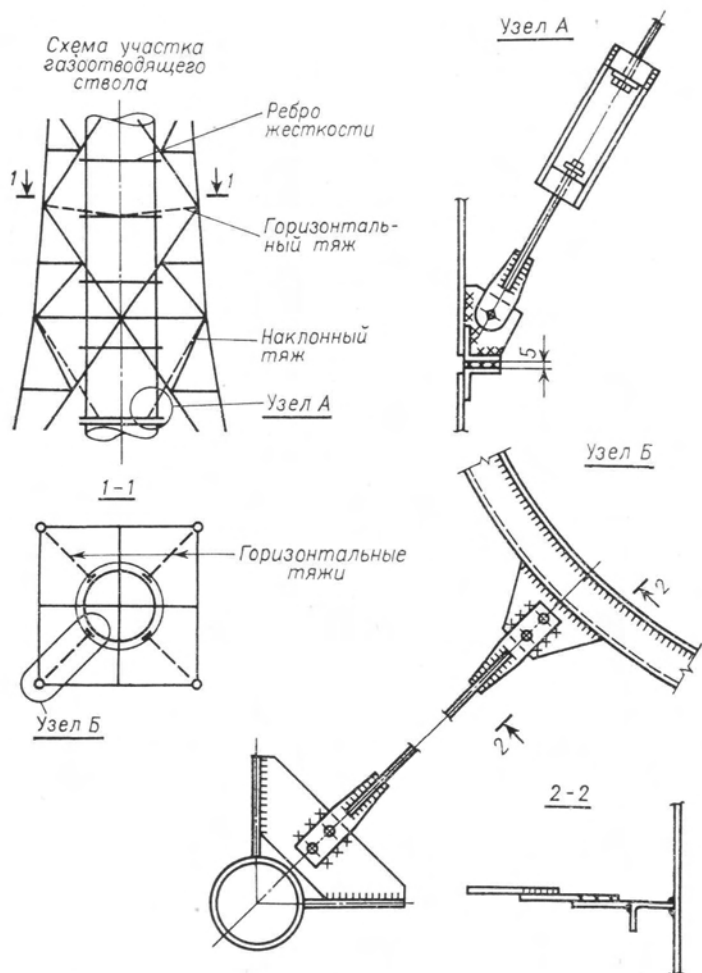


Рис. 38. Схема и детали опирания газоотводящего ствола на наклонных и горизонтальных тязях

товления, транспортирования и монтажа газоотводящего ствола. Вопросы заводской или монтажной приварки всех выступающих деталей ствола (опорных колец, ребер жесткости и др.) решаются в зависимости от способа изготовления и условий транспортирования.

При совмещенной передаче горизонтальных и вертикальных сил (см. рис. 36) отдельные секции трубы на каждую из диафрагм могут опираться тремя способами: 1) посредством опорного устройства, ограниченного двумя горизонтальными ребрами жесткости, образующими кольцевую опорную балку (см. рис. 36, а); 2) то же, но представляющего собой отдельные опорные «лапы» (см. рис. 36, б); 3) с помощью опорного устройства, состоящего из усиленного опорного кольца (см. рис. 36, в).

Первое, наиболее часто встречающееся, решение применяется для газоотводящих стволов среднего диаметра (2—4 м); второе и третье — соответственно для малых и больших диаметров. Третий вариант, естественно, применяется только в тех случаях, когда по расчету требуется усиление стенки газоотводящего ствола.

При вполне удовлетворительном общем решении данного узла способ опирания газоотводящего ствола на несущую башню с совмещенной передачей вертикальных и горизонтальных сил на каждую диафрагму не получил широкого распространения из-за высокой трудоемкости изготовления конструкций, а также сложности устройства антикоррозионного покрытия в местах компенсаторов.

Вследствие этого раздельное опирание ствола на вертикальные и горизонтальные нагрузки более предпочтительно.

Использование катков для горизонтального опирания ствола на несущую башню (см. рис. 37) является результатом естественного стремления обеспечить полное соответствие конструктивного решения расчетной схеме. Однако, как показала практика, в большинстве случаев такое решение нельзя признать оправданным. Проведенный анализ показал, что температурные перемещения газоотводящего ствола носят плавный характер и максимальная величина их получается лишь в моменты пуска завода и остановки технологического процесса, которые сами по себе чрезвычайно редки. Перемещения же, связанные с колебаниями температуры наружного воздуха, незначительны по величине и скорости изменения. С другой стороны, изготовление и установка катков на монтаже требуют повышенной точности. Как показал опыт эксплуатации сооружений, даже небольшая неточность установки катков приводит к их перекосу и заклиниванию, вызывающим разрушение опорного устройства или недопустимые деформации оболочки газоотводящего ствола. Вот почему применение катков для горизонтального опирания ствола на несущую башню оказалось нецелесообразным.

Следующим типом устройства для передачи горизонтальных нагрузок от ствола на башню являются горизонтальные или слабо наклонные тязи (см. рис. 38). Для обеспечения четкой работы тязей на горизонтальную нагрузку их установка требует заранее заданных положений и допусков на изготовление,

которые исчисляются для каждого яруса по соответствующим температурным деформациям сооружения. В реальных условиях монтажа и эксплуатации это практически неприемлемо, поэтому

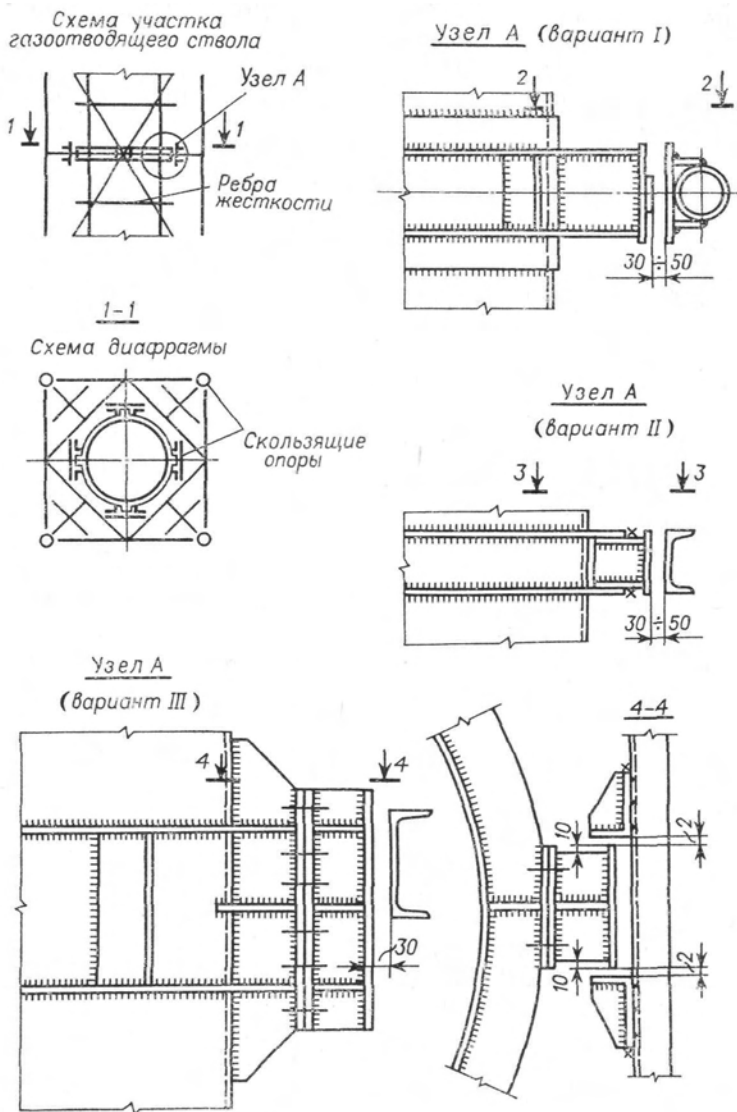
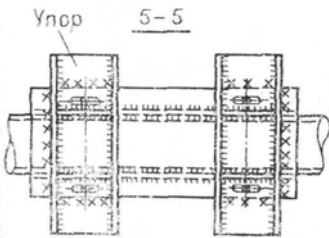
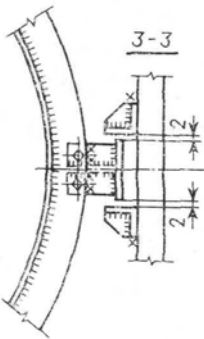
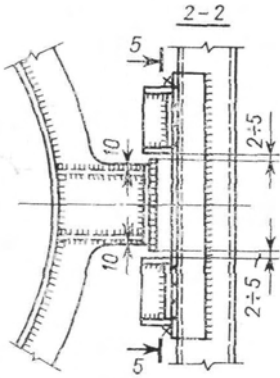


Рис. 39. Схема и детали скользящих опор газотводящего ствола

постановка тяжей в горизонтальном положении может быть оправдана лишь для случаев небольшой разницы между температурой наружного воздуха и температурой отходящих газов

(около 50°C). Это соответствует максимальной величине температурных перемещений газоотводящего ствола относительно башни в пределах ± 40 мм. Диаметр горизонтальных тяжей следует принимать равным 24—30 мм при суммарной ветровой нагрузке на данную горизонтальную опору ствола, не превышающей 50 кН. Расчет опорного кольца газоотводящего ствола и соответствующего узла башни необходимо производить с учетом величины и направления усилий, передаваемых тяжами.



Существенные недостатки, ограничивающие использование этого способа закрепления газоотводящего ствола на диафрагме для восприятия горизонтальных нагрузок, привели к тому, что он до настоящего времени не нашел широкого применения в практике строительства вытяжных башен.

Поиски более совершенного решения узла горизонтального опирания ствола привели к разработке его в виде скользящей опоры, которая лишена основных недостатков, присущих ранее рассмотренным типам опирания. В данном случае необходимая и достаточно высокая точность установки упоров не предъявляет особых требований к монтажным работам, так как положение их перед окончательным закреплением легко выверяется и корректируется. На рис. 39 показаны три наиболее часто встречающихся варианта решения конструкций скользящей опоры газоотводящего ствола. Выбор того или иного варианта определяется величиной горизонтальной силы, передаваемой в узле, и величиной температурного перемещения газоотводящего ствола относительно несущей башни. В двух первых вариантах высоту упоров назначают таким образом, чтобы при температурных вертикальных перемещениях газоотводящего ствола

опорные планки его не выходили за пределы упоров. Практически эти варианты приемлемы при температурных перемещениях ствола относительно башни в пределах до 400 мм. Если

же перемещения превосходят эту величину, то целесообразно увеличивать высоту опорного кольца и размер скользящей опоры в вертикальном направлении (рис. 39, вариант III). Высоту упоров в этом случае можно назначать конструктивно. Преимущество такого решения заключается в более четкой передаче горизонтальной силы на диафрагму несущей башни, при которой исключена возможность возникновения кручения упоров и местного дополнительного момента на балку площадки, присущих в определенной степени двум первым вариантам решения рассматриваемого узла. Опыт эксплуатации вытяжных башен показал, что в настоящее время скользящая опора наилучшим образом отвечает предъявляемым требованиям к горизонтальному опиранию газоотводящего ствола на башню.

Решения узлов опирания ствола на диафрагму для воспринятая вертикальных нагрузок в нижней части башни могут быть приняты в зависимости от величины нагрузки и от уровня при-мыкания газопроводов по одному из вариантов, представленных на рис. 15.

Наиболее сложным является опирание газоотводящего ствола на одну из нижних диафрагм или на вспомогагельную опору, однако оно может быть выполнено по типу рис. 36, в. Подвеска газоотводящего ствола на наклонных тросах также достаточно надежна и может быть рекомендована к применению при небольшой разнице между размером башни в плане в месте крепления тросов и диаметром газоотводящего ствола. Кроме того, необходимо иметь в виду, что подвеска ствола на тросах достаточно трудоемка в исполнении и поэтому может быть оправдана лишь при условии ограничения диаметра тросов размерами 36—42 мм и угла наклона тросов к горизонту в пределах 50—70°. Эти предельные размеры позволяют осуществлять подвеску ствола общей массой примерно до 60 т. Существенным недостатком такого способа опирания ствола является то, что его опорное кольцо и узел крепления тросов к башне должны воспринимать значительные горизонтальные силы, обусловленные наклонным положением тросов.

Кроме стационарного опирания на диафрагму для воспринятая вертикальных нагрузок, в конструкции газоотводящего ствола предусматривается возможность его подвески в верхней части сооружения во время монтажа и на время ремонта. Решение этого узла выполняется по типу скользящей опоры (рис. 40), и временная подвеска ствола осуществляется за счет установки соответствующих прокладок между опорными конструкциями ствола и диафрагмы.

Все рассмотренные выше решения по опиранию газоотводящего ствола на несущую башню сооружения относятся в основном к стволам, выполненным из углеродистой стали. Вместе с тем, как отмечалось ранее, газоотводящие стволы вытяжных башен в зависимости от состава и концентрации удаляемых га-

зов могут выполняться и из других материалов. В настоящее время уже имеется определенный опыт использования для газоотводящих стволов таких материалов, как алюминий, титан, дерево, некоторые виды пластмасс. Специфические особенности механических и физических характеристик этих материалов определяют некоторые отличительные требования к условиям конструирования из них газоотводящих стволов при сохранении принципиальной схемы опирания на башню.

Сплавы алюминия, несмотря на низкую их объемную массу, характеризуются и более низким, чем сталь, расчетным сопротивлением. Вследствие этого газоотводящий ствол, выполненный из алюминия, следует вертикально опирать на диафрагму несущей башни не в четырех, а в восьми точках, или равномерно по всему периметру через дополнительное промежуточное стальное кольцо. Участок газоотводящего ствола в месте опорного кольца всегда делают утолщенным по сравнению со всей оболочкой ствола, а кольца закрепляют большим количеством вертикальных ребер. Для предотвращения гальванической коррозии во всех местах соприкосновения сплава алюминия со сталью необходимо предусматривать изолирующие прокладки из оцинкованной стали. Болты (в том числе и сборочные) должны быть также оцинкованными.

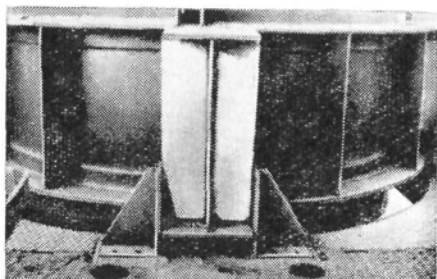


Рис. 40. Скользящая опора газоотводящего ствола, предусматривающая возможность опирания его на верхнюю площадку башни

Для газоотводящих стволов, выполненных из сплава титана, следует предусматривать изоляцию от стали с целью предотвращения гальванической коррозии. В качестве изоляции применяются прокладки из тефлона (фторопласт-4) или полнизобутилена. Используемые в настоящее время для газоотводящих стволов сплавы титана по механическим характеристикам близки к стали, поэтому в остальном (за исключением наличия прокладок) узлы опирания титанового ствола не отличаются от соответствующих узлов опирания стального.

Пластмассовые газоотводящие стволы набираются из отдельных типовых царг высотой до 3 м и опирание их на диафрагму несущей башни осуществляется через вспомогательный поддерживающий каркас из стального проката. Горизонтальные воздействия со ствола на башню передаются тяжами; свобода вертикальных температурных перемещений обеспечивается компенсаторами.

Типы компенсаторов газоотводящего ствола. Во всех применяемых в настоящее время типах компенсаторов металлических газоотводящих стволов имеется один общий недостаток, заключающийся в сложности осуществления антикоррозионной защиты. Дополнительные трудозатраты на изготовление компенсаторов и антикоррозионную защиту послужили причиной того, что в последнее время в практике проектирования вытяжных башен высотой до 120 м компенсаторы применяются крайне редко. Вместе с тем, конструирование газоотводящего ствола с компенсаторами создает лучшие условия для работы оболочек ствола, упрощает его монтаж и ремонт, который может осуществляться в этом случае посекционно. Кроме того, при больших высотах сооружения (свыше 120 м) опасность заклинивания газоотводящего ствола в процессе температурных перемещений делает порой целесообразным опирание ствола не на одну, а на две-три диафрагмы с устройством необходимых в этом случае компенсаторов. Практически же вопрос о целесообразности устройства компенсаторов того или иного типа и их количестве решается в каждом конкретном случае отдельно в зависимости от принятой схемы и температурных условий эксплуатации сооружения.

Общий вид секции ствола с компенсатором схематически представлен на рис. 36. На рис. 41 показаны некоторые типы компенсаторов стальных газоотводящих стволов. Размеры компенсаторов определяются расчетом. Конструктивно они могут быть выполнены из листовой стали или из стальных деталей в сочетании с деталями из других материалов, например резины.

При любых решениях конструкций компенсаторов следует стремиться к созданию таких его форм, чтобы по возможности предотвратить задержку в нем удаляемых через ствол агрессивных газов и образование конденсата. Для этого нижняя стенка компенсатора (рис. 41, а) делается с выпуском внутрь ствола, а оболочка ствола над компенсатором — с выпуском в зону компенсатора. Нижняя стенка компенсатора должна иметь такой уклон, чтобы происходил сток конденсата и не создавались значительные усилия при температурных перемещениях ствола. Некоторой защитой от попадания в компенсатор газов, паров и конденсата может служить листовой скользящий фартук (рис. 41, б).

Устройство компенсатора в виде свободно скользящего наружного листа-фартука (рис. 41, в) позволяет наиболее просто осуществить его антикоррозионную защиту, однако его можно рекомендовать только для газоотводящих стволов небольшого диаметра (2—3 м). В стволах большого диаметра возможные перекосы секций, а также местные искривления и дефекты оболочки ствола могут существенно нарушить нормальную работу такого компенсатора.

Более совершенным и надежным в эксплуатации вариантом данного типа компенсатора является широко применяющийся для газопроводов так называемый сальниковый компенсатор (рис. 41, г), правда, возможность его применения также ограничивается небольшими диаметрами газотводящих стволов.

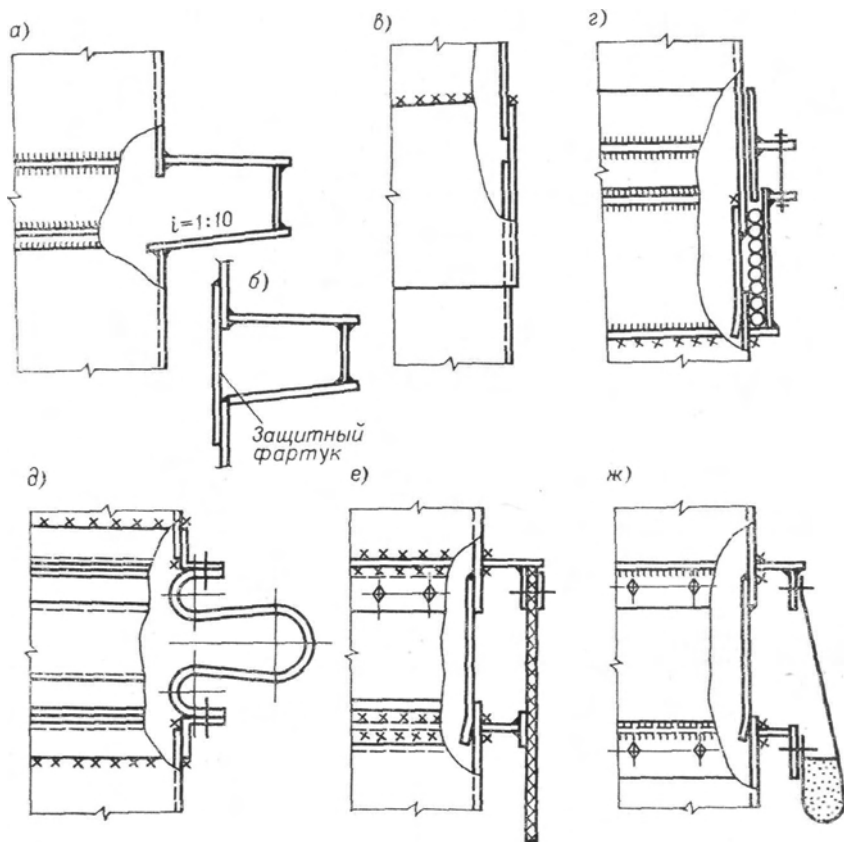


Рис. 41. Типы компенсаторов газотводящего ствола

а — из листовой стали; *б* — то же, с защитным фартуком; *в* — из одиночного листового фартука; *г* — сальниковый; *д* — с использованием резиновой полосы специального профиля; *е* — с использованием транспортной ленты; *ж* — то же, специальной стеклоткани и с заполнением сухим песком

Значительно лучшими эксплуатационными качествами обладают компенсаторы, выполненные с использованием специальной резины или другого эластичного материала, стойкого в агрессивной газовой среде и при повышенных температурных режимах газотводящего ствола. Такие компенсаторы надежны в эксплуатации и пригодны для любых диаметров газотводящих стволов. Вместе с тем, компенсатор, изображенный на рис. 41, д,

требует заводского изготовления специального профиля достаточно сложной конфигурации, а компенсатор на рис. 41, *е* не обеспечивает одинакового примыкания фартука по всему периметру ствола.

Таким образом, в настоящее время для газоотводящих стволов вытяжных башен нет еще достаточно совершенной конструк-

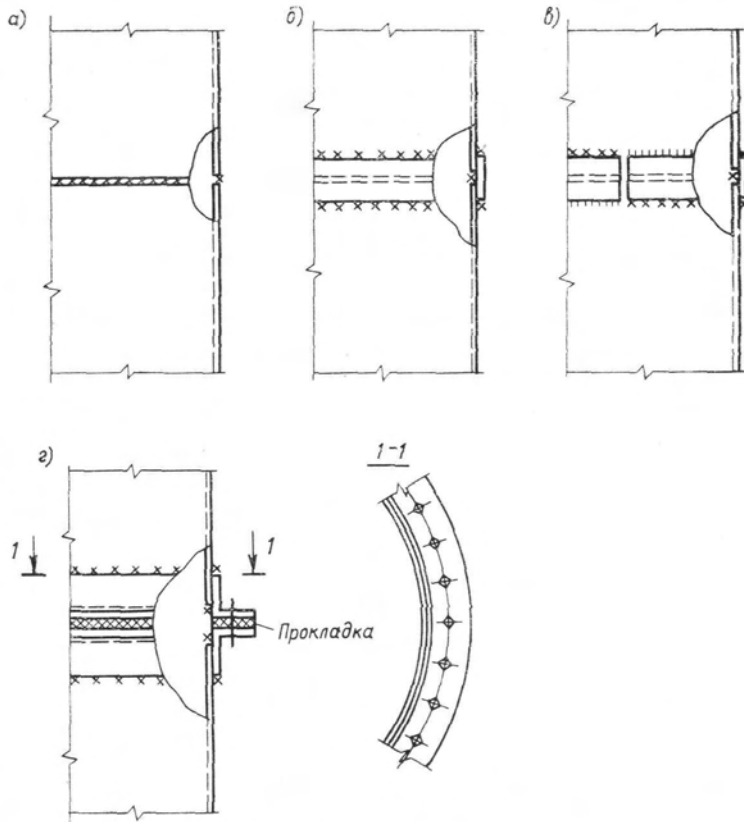


Рис. 42. Типы монтажных соединений стального газоотводящего ствола

а — сварка встык; *б* — соединение на накладках; *в* — соединение на полубандажах; *г* — фланцевое соединение

ции компенсатора, в равной степени удовлетворяющей всем предъявляемым к компенсатору требованиям, и работа над его созданием должна быть продолжена.

Типы монтажных соединений газоотводящего ствола. Членение оболочки газоотводящего ствола на отправочные элементы и соответственно установление количества и вида монтажных стыков определяются технологией изготовления, способом и

средствами транспортирования и условиями монтажа сооружения. Наибольшее распространение получили три типа монтажных стыков оболочки газоотводящего ствола: 1) сварка встык (рис. 42, а); 2) соединение кольцевой накладкой (рис. 42, б, в); 3) соединение на болтах нормальной точности кольцевых ребер из прокатных уголков (рис. 42, г).

Кольцевые накладки в виде полубандажей (рис. 42, в), используемые для стволов небольшого диаметра, существенно уменьшают количество монтажной сварки. Кольцевые ребра из прокатных уголков, соединяемые на болтах, можно приваривать к оболочке ствола как заводскими, так и монтажными швами. Монтажный стык газоотводящего ствола фланцевого типа (рис. 42, г), как правило, делается только в тех случаях, когда секции газоотводящего ствола в целях антикоррозионной защиты предварительно гуммируются.

Лучшим решением из перечисленных монтажных соединений элементов газоотводящего ствола является сварка встык. Такое решение экономично по расходу металла и трудоемкости изготовления и позволяет наилучшим образом осуществить защиту ствола от коррозионного воздействия агрессивной среды.

§ 4. Материалы

Материал для изготовления конструкций вытяжных башен определяется одновременно с выбором компоновочной схемы сооружения путем вариантного проектирования и соответствующего технико-экономического анализа. В этом анализе в обязательном порядке необходимо учитывать, что качественные показатели материала, наряду с другими факторами, оказывают существенное влияние не только на надежность сооружения и первоначальную стоимость его строительства, но и, что особенно важно, на последующие затраты во время эксплуатации. При этом следует иметь в виду, что затраты, связанные с преждевременным износом сооружения, включают в себя не только стоимость проведения капитального ремонта, но и в ряде случаев огромные убытки от вынужденной полной или частичной остановки производственного процесса. Характерным примером рационального проектирования в этом отношении может служить применение в качестве материала для газоотводящих стволов титана, высокая стоимость которого для некоторых видов производств окупается уже в течение 3—4 лет благодаря существенному продлению срока нормальной эксплуатации вытяжной башни.

Учитывая различное функциональное назначение конструкций несущей башни и газоотводящего ствола, материал для их изготовления следует выбирать с учетом своих, специфических, требований и условий эксплуатации. В частности, для материала несущих конструкций важно учитывать его способность

сопротивляться коррозионному воздействию окружающей атмосферы. В комплексе вопросов, связанных с предназначением материалов газоотводящих стволов, должны быть дополнительно учтены такие факторы, как проникновение коррозии, влияние изменения температуры наружного воздуха на температуру отводимых газов, приводящее к образованию конденсата, возможность нарушения нормального технологического процесса и, как следствие этого, изменения в составе отводимых газов, их температуре и влажности.

Несущие башни. Башни с сечениями элементов из профильного металла или из листового проката, как правило, изготавливаются из углеродистой стали по ГОСТ 380—71 и из низколегированной стали по ГОСТ 19281—73 и 19282—73 или по специальным техническим условиям.

Башни в целом и отдельные их элементы относятся к тем конструкциям, на которые в прямом виде не распространяется табл. 50 главы СНиП II-В.3—72 [91]. Однако, как показывает опыт проектирования, назначение конкретных марок сталей для башен с достаточным основанием может производиться применительно ко II группе сварных конструкций этой таблицы с некоторым сокращением количества рекомендуемых марок сталей (табл. 2). При назначении марок сталей необходимо учитывать, что башни эксплуатируются на открытом воздухе, и в связи с этим за расчетную температуру следует принимать температуру наружного воздуха района строительства по наиболее холодной пятидневке согласно указаниям главы СНиП II-А.6—72 [87].

Сталь всех приведенных в табл. 2 марок должна удовлетворять требованию на загиб в холодном состоянии согласно нормам соответствующих государственных стандартов и технических условий. При соответствующем технико-экономическом обосновании марки стали, применяемые при низких расчетных температурах, могут быть использованы и при более высоких расчетных температурах.

В случае применения для элементов башен (эксплуатируемых при расчетных температурах выше -40°C) стальных труб последние рекомендуется принимать электросварными по ГОСТ 10704—63 или бесшовными горячекатаными по ГОСТ 8732—70. При этом следует иметь в виду, что поставка труб по ГОСТ 10704—63 больших диаметров для строительных конструкций ограничена, в основном, максимальным диаметром 426 мм при толщине стенки 12 мм. Бесшовные же трубы по ГОСТ 8732—70 прокатываются диаметром не более 426—530 мм при толщине стенки от 9 до 75 мм. Применение в проектах труб с толщиной стенки более 20 мм, как правило, должно быть тщательно обосновано и предварительно согласовано с заводом-изготовителем и снабженческими организациями. Для электросварных труб обычно принимается сталь марки 20 по

Материалы для несущих конструкций вытяжных башен

Расчетная температура, °С	Класс стали	Марка стали	Толщина листового, сортового и фасонного проката, мм	ГОСТ или ТУ на поставку
$t \geq -30$	С38/23	ВСтЗпс6 ВСтЗсп5	5—10 11—25	ГОСТ 380—71
		В18Гпс5	11—30	ЧМТУ1—47—67
		09Г2С, кат. 12	61—160	ГОСТ 19282—73
$-30 > t \geq -40$	С38/23	ВСтЗпс6 ВСтЗсп5	5—10 11—25	ГОСТ 380—71
	С46/33	14Г2, кат. 12 10Г2С1, кат. 12 15ХСНД, кат. 12	4—32 4—40 5—32	ГОСТ 19281—73 ГОСТ 19282—73
$-40 > t \geq -65$	С38/23	09Г2С, кат. 15	61—160	ГОСТ 19282—73
	С44/29	09Г2С, кат. 15	21—60	ГОСТ 19281—73 ГОСТ 19282—73
	С46/33	09Г2С, кат. 15 10Г2С1, кат. 15 15ХСНД, кат. 15	4—20 4—60 4—32	ГОСТ 19281—73 ГОСТ 19282—73
	С52/40	10ХСНД, кат. 15	11—40	ГОСТ 19281—73 ГОСТ 19282—73

ГОСТ 1050—60 или ВСтЗсп5 по ГОСТ 380—71. Для бесшовных труб принимается сталь марки 20 по ГОСТ 8731—66. При необходимости использования труб больших диаметров, изготовление их возможно из листового проката путем вальцовки непосредственно на заводах металлоконструкций, начиная с диаметра 630 мм и более. Листовой же прокат для этих целей может приниматься как из углеродистой, так и из низколегированной сталей.

Газоотводящие стволы. Особые условия эксплуатации газоотводящих стволов вытяжных башен вызывают необходимость при выборе материалов помимо рекомендаций главы СНиП II-V.3—72 [91] учитывать дополнительные требования, отражающие особенности их работы. Глава СНиП II-28—73 [92] содержит лишь весьма ограниченные указания по конструкции и материалам промышленных труб (табл. 20). В связи с этим ниже приводятся некоторые обобщенные сведения об условиях эксплуатации газоотводящих стволов вытяжных башен и

предложения по выбору материалов, полученные на основе анализа большого количества индивидуальных проектов (около 200), а также публикаций. При этом основное внимание уделено физико-химическим свойствам и особенностям поведения материалов в контакте с различными средами, поскольку именно эти свойства предопределяют выбор материалов для газоотводящих стволов.

В зависимости от температуры и влажности газоздушных смесей режимы, при которых эксплуатируются стволы вытяжных башен, можно свести к четырем основным видам [76]

1) низкотемпературный сухой режим, характеризующийся температурой ниже 100°C и отсутствием конденсата (относительная влажность, как правило, ниже 50—60%),

2) низкотемпературный влажный режим, характеризующийся температурой ниже 100°C и наличием конденсата (относительная влажность, как правило, значительно выше 60%),

3) высокотемпературный сухой режим с температурой выше 100°C , без конденсата;

4) переменный режим, характеризующийся периодическим изменением температуры (как правило, в интервале 30— 300°C) и влажности, меняющейся в широком интервале, что периодически приводит к образованию конденсата.

Вполне очевидно, что, как бы совершенна ни была очистная аппаратура, какая-то часть вредных веществ в отводимых газах присутствует и оказывает существенное влияние на коррозию газоотводящих стволов. При этом коррозионный процесс может идти по двум основным путям [18] электрохимической коррозии и газовой коррозии. Электрохимическая коррозия возникает при взаимодействии металла ствола с электролитом, который образуется в результате конденсации водных растворов кислот, солей и щелочей на стенках ствола. Образование конденсата, а следовательно, и электрохимическая коррозия характерны для холодновлажного режима эксплуатации. Газовая коррозия — это химическая коррозия металла в газах при высоких температурах. Характерной особенностью газовой коррозии является отсутствие на поверхности стенок ствола влаги, что имеет место при горячесухом режиме эксплуатации. На скорость газовой коррозии влияет целый ряд факторов и прежде всего температура и состав газовой среды. Повышение давления газа при прочих равных условиях сильно ускоряет газовую коррозию.

Таким образом, конструкционные материалы в каждом конкретном случае следует выбирать с учетом их коррозионной стойкости по отношению к отводимым средам и в соответствии с режимом работы вытяжной башни.

В соответствии с установившейся практикой для газоотводящих стволов используются следующие материалы:

1) металлы: обычные маугтеродные стали (с защитным покрытием или без него), высоколегированные стали различных марок, алюминий и его сплавы, титан;

2) конструкционные пластмассы: текстолит, стеклопластики и др.;

3) древесина.

Ниже приводятся некоторые сведения о взаимодействии материалов, используемых для газоотводящих стволов, с отдельными химическими элементами и соединениями. Несмотря на обязательную предварительную очистку отходящих газов, присутствие этих веществ в их составе возможно, и оно определяет условия применения материалов для газоотводящих стволов в зависимости от температуры, влажности и степени концентрации газов. При этом имеется в виду, что коррозионная стойкость металлов зависит не только от условий коррозионной среды, но и от природы самого металла, от его способности к образованию прочных пассивирующих пленок.

Обычные малоуглеродистые стали, например Ст. 3, даже при комнатной температуре в жидких агрессивных средах, таких, как серная (кроме концентрированной*), азотная, соляная и плавиковая кислоты, а также растворы некоторых солей, не образуют прочных пассивирующих пленок, не являются коррозионностойкими и поэтому в условиях низкотемпературного влажного режима не могут применяться без эффективной защиты. В сухих газах, например в сернистом с температурой до 100°С, в окислах азота, в сухом хлоре с температурой до 20°С, малоуглеродистые стали обладают удовлетворительной коррозионной стойкостью и могут использоваться в этих условиях без защиты или с защитой лакокрасочными материалами. При наличии влаги все эти газы образуют соответствующие кислоты, в контакте с которыми малоуглеродистые стали подвергаются значительной коррозии. Сильной коррозии они подвергаются и в атмосфере влажного сероводорода. При высокотемпературном сухом режиме работы сооружения малоуглеродистые стали целесообразно применять при температуре отводимых газов, не превышающей 300°С, поскольку выше этой температуры протекает заметная газовая коррозия, особенно резко увеличивающаяся при температуре 500°С и более.

Таким образом, малоуглеродистую сталь марки Ст 3 [34, 96], являющуюся в настоящее время основным конструкционным материалом для газоотводящих стволов вытяжных башен, целесообразно, как правило, применять лишь при наличии эффективной защиты. Однако, учитывая, что в реальных условиях эксплуатации достаточно эффективной защиты в настоящее время не существует, можно в некоторых случаях увеличивать на 2—4 мм (по сравнению с необходимой толщиной по условиям прочности и устойчивости) толщину стенок газоотводящих стволов, выполненных из Ст.3, особенно в зоне окутывания, подвергающейся наибольшей коррозии.

Высоколегированные стали применяются в тех условиях, где требуется высокая стойкость против коррозии и для работы

* При температуре кипения концентрированная серная кислота также вызывает сильную коррозию малоуглеродистых сталей.

при высоких температурах. В зависимости от основных свойств высоколегированные стали подразделяются на следующие группы [95]:

I — коррозионностойкие (нержавеющие), т. е. стали, обладающие стойкостью против электрохимической коррозии;

II — жаростойкие (окалиностойкие), т. е. стали, обладающие стойкостью против химического разрушения поверхности в газовых средах при температурах выше 550°C и работающие в ненагруженном или слабонагруженном состоянии;

III — жаропрочные, т. е. стали, обладающие достаточной окалиностойкостью в нагруженном состоянии в высокотемпературной среде.

Для газоотводящих стволов вытяжных башен применимы некоторые марки сталей I и II групп. К ним относятся стали марок ОХ13, ОХ21Н5Т, Х17Н13М2Т и ОХ23Н28М3Д3Т, стойкие против электрохимической коррозии, а также стали марок Х18Н9Т и Х18Н10Т, являющиеся, кроме того, и жаропрочными.

Известно, что хромистые и хромоникелевые стали имеют высокую коррозионную стойкость к минеральным кислотам, обладающим окислительным действием (концентрированная серная, азотная кислоты), к растворам солей и едких щелочей. Неокислительные кислоты (серная малых и средних концентраций, соляная, плавиковая) разрушают хромистые и хромоникелевые стали. Легирование хромоникелевой стали молибденом и медью делает ее стойкой к серной (любых концентраций и при повышенной температуре), соляной, плавиковой и фосфорной кислотам.

Таким образом, хромистая сталь марки ОХ13 может быть использована для газоотводящих стволов в средах, содержащих окислы азота, а также в сероводородной среде.

При низкотемпературном влажном режиме для работы в средах, содержащих окислы азота и фосфора, целесообразно использовать хромоникелевые стали Х18Н9Т, Х18Н10Т и ОХ21Н5Т, а стали Х18Н9Т и Х18Н10Т (в случае высокотемпературного сухого режима), кроме того, в средах, содержащих окислы серы, хлористый водород, хлор. В средах, содержащих окислы серы, азота и фосфора, а также сероводород, можно применять хромоникелемолибденовую сталь Х17Н13М2Т. Высоколегированная хромоникелемолибденовая медистая сталь ОХ23Н28М3Д3Т обладает высокой коррозионной стойкостью практически во всех средах, даже во фтористых соединениях. Для переменного режима, наиболее неблагоприятного для конструкционных материалов, можно рекомендовать стали марок Х18Н9Т и Х18Н10Т для сред, содержащих окислы азота и фосфора, а сталь ОХ23Н28М3Д3Т для сред, содержащих окислы серы и галогеносодержащие соединения.

Применение этих марок легированных сталей для газоотводящих стволов вытяжных башен с экономической точки зрения в настоящее время целесообразно лишь в виде плакирую-

шего покрытия по значительно более дешевой малоуглеродистой стали, поскольку коррозионная стойкость плакирующего слоя равноценна стойкости стали, использованной для плакирования. В порядке исключения и при соответствующем обосновании газоотводящий ствол может быть выполнен целиком (полной толщины) из высоколегированных сталей. Однако в этом случае необходимо учитывать, что возможность поставки таких сталей для целей строительства весьма ограничена и требует предварительного согласования с соответствующими инстанциями.

Алюминий и его сплавы. Чистый алюминий имеет малую прочность и не может быть использован в качестве конструкционного материала. Однако прочность его резко возрастает под влиянием добавок других элементов, термической и механической обработки [35, 43, 46, 66]. В ряде случаев алюминий и алюминиевые сплавы успешно используются вместо стали. Алюминий имеет высокую коррозионную стойкость на воздухе и в ряде других сред вследствие образования прочной окислительной пленки.

Алюминий и его сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью к воздействию сухого сернистого газа при температурах 20—40°С, а также в атмосфере сероводорода и сухих окислов азота. Это и предопределяет область применения алюминия и его сплавов в качестве материала для газоотводящих стволов вытяжных башен. Обычно используется технический алюминий марки АД1, а также сплав алюминия с марганцем марки АМц, который превосходит алюминий по прочности и коррозионной стойкости.

В растворах серной, соляной, азотной (средних концентраций), фосфорной (средней и высокой концентрации), а также плавиковой кислот алюминий и его сплавы подвергаются сильному коррозионному разрушению. Влажный сернистый ангидрид также вызывает значительную коррозию алюминия. Совершенно нестойк алюминий и в щелочных средах. Кроме того, применение алюминия и его сплавов ограничено областью относительно низких температур (80—100°С), выше которых ухудшаются его прочностные свойства. Необходимо также иметь в виду, что коррозия алюминия сильно увеличивается при контакте с обычной или нержавеющей сталью.

Все это существенно ограничивает область применения алюминия и его сплавов. Нарушение условий, определяющих коррозионную стойкость алюминия, приводит к его быстрому разрушению. Опыт эксплуатации алюминиевых труб показывает, что даже кратковременные изменения в режиме работы приводят к ускоренному разрушению алюминиевых стволов вытяжных башен.

Титан и его сплавы. Эти материалы сочетают в себе большую прочность с малой плотностью и высокой коррозионной стойкостью в атмосфере воздуха, в морской воде, а также

в растворах щелочей и неорганических солей [32, 63]. Благодаря этому во многих случаях они обладают значительными преимуществами перед такими материалами, как сталь и алюминий. Однако с повышением температуры защитные и прочностные свойства титана ухудшаются. В частности, технический титан марки ВТ1, который наиболее часто применяется в химической промышленности, рекомендуется использовать при температуре не выше 350° С. Наиболее стоек титан в кислых средах. Он обладает высокой коррозионной стойкостью в азотной кислоте и царской водке, в сухом сернистом газе и во влажном хлоре. Стойкость титана в серной, соляной и фосфорной кислотах снижается по мере увеличения концентрации этих кислот. Он нестойк в плавиковой кислоте и в сухом хлоре. В противоположность алюминию титан при контакте со сталью не корродирует, но при этом сама сталь подвергается коррозионному разрушению.

Конструкционные пластмассы. Текстофаолит — один из видов конструкционных пластмасс — получается отверждением слоистого материала, состоящего из фаолита и стеклянной или хлопчатобумажной ткани, пропитанной бакелитовым лаком [42]. Его механическая прочность значительно выше прочности исходного фаолита, а химическая стойкость определяется стойкостью исходного материала.

Фаолит представляет собой кислотоупорную пластмассу, приготовленную на основе фенолоформальдегидной смолы и наполнителя. В отвержденном виде его можно подвергать всем видам механической обработки. Он отличается достаточной прочностью и высокой химической стойкостью. В условиях воздействия некоторых агрессивных газов и кислот фаолит может применяться при температурах от —30 до +130° С. Фаолит устойчив к действию сухих и влажных окислов серы, к действию хлора и сероводорода. Он устойчив в соляной (t до 100° С) и фосфорной (t до 80° С) кислотах любых концентраций, в 95%-ной серной кислоте (t до 60° С) и 50%-ной серной кислоте (t до 100° С). Растворы различных солей также не вызывают изменений фаолита. Однако он неустойчив к действию окислов азота и азотной кислоты, к соединениям фтора и щелочам.

Необходимо отметить, что, хотя для целей строительства массовый выпуск текстофаолита еще не налажен, применение его, а также некоторых других конструкционных пластмасс, например, таких, как стеклопластик, в качестве материала для газоотводящих стволов вытяжных башен представляется более перспективным, чем высоколегированных сталей.

Древесина. Это материал с невысокой коррозионной стойкостью. Древесина хвойных пород содержит смолу и поэтому обладает большей химической стойкостью, чем древесина лиственных пород [3]. Древесина, пропитанная фенолоформальдегидной смолой, достаточно стойка при повышенных температурах (75—125° С) к действию серного ангидрида, хлора, хлора

в смеси с хлористым водородом, фтористого водорода, сероводорода, а также к действию растворов серной, соляной, плавиковой, фосфорной, сероводородной кислот, за исключением окисляющих (азотной, концентрированной серной). Разрушающее действие кислот проявляется тем сильнее, чем выше температура и концентрация.

Согласно требованиям Государственного пожарного надзора, доски, из которых изготавливается газоотводящий ствол вытяжной башни, необходимо пропитывать антипиренами по методу горяче-холодной ванны, в частности, аммонийно-фосфорнофтористыми солями, и окрашивать с двух сторон огнестойкой краской ПХВО. Для защиты от конденсата их покрывают химически стойким лаком ХСЛ. Соединять доски следует гвоздями из нержавеющей стали.

Все данные, относящиеся к выбору материалов для газоотводящих стволов вытяжных башен с учетом режимов их работы, сведены в табл. 3.

Антикоррозионная защита стальных конструкций вытяжных башен. В главе СНиП II-28—73 нет рекомендаций по способам антикоррозионной защиты стальных конструкций вытяжных башен. Некоторые предложения по этому вопросу, приведенные ниже, составлены на основе обобщения опыта эксплуатации вытяжных башен и сведений литературных источников.

Антикоррозионная защита применяется только для малоуглеродистой и низколегированных сталей, например, марок Ст.3, 10Г2С1 и др. (высоколегированные стали особой защиты не требуют). Наибольшее значение имеет антикоррозионная защита лакокрасочными материалами, которые используются главным образом для наружной поверхности несущих конструкций и газоотводящего ствола и, в меньшей степени, для его внутренней поверхности, находящейся в контакте с отводимыми средами. Несомненным преимуществом лакокрасочной защиты строительных металлоконструкций является ее экономичность.

Особое внимание при нанесении лакокрасочных покрытий должно быть уделено качеству подготовки поверхности под окраску, поскольку от этого в большой степени зависит срок службы покрытия, так как коррозионная стойкость металла обычно повышается с улучшением чистоты обработки его поверхности. На поверхности металлоконструкций не должно быть грубых необработанных швов, брызг сварки, наплывов металла, раковин, рисок, трещин, заусениц, острых кромок. Все острые края должны иметь радиус закругления более 5 мм. Поверхность металлоконструкций нужно очищать от ржавчины, окалины, грязи, защитной смазки и жировых загрязнений, а при ремонтных работах — от старой разрушившейся краски. Во избежание окисления свежечищенной поверхности стали ее следует грунтовать не позднее 3—4 ч после окончания процесса очистки. Окраска осуществляется при температуре не ниже +10°С.

Материалы, применяемые для газоотводящих стволов в зависимости от состава газов и температурно-влажностного режима

№ п/п	Химические компоненты, присутствующие в отводимых газах	Режим работы			
		Низкотемпературный сухой (до 100 °С, без конденсата)	Низкотемпературный влажный (до 100 °С, с конденсатом)	Высокотемпературный сухой (свыше 100 °С, без конденсата)	Переменный
1	Сернистый газ, серный ангидрид	Ст. 3 ¹ , АМц ² , текстололит, древесина ³	Ст. 3 ¹ , текстололит, Х17Н13М2Т ⁴ , ОХ23Н28М3Д3Т, древесина ³	Ст. 3 ¹ , Х18Н9Т, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т, ОХ23Н28М3Д3Т, ВТ1 ⁵	ОХ23Н28М3Д3Т
2	Окислы азота	Ст. 3 ¹ , АМц ²	ОХ13, ОХ21Н5Т, Х17Н13М2Т, Х18Н9Т, Н18Н10Т, ОХ23Н28М3Д3Т, ВТ1 ⁵	Ст. 3 ¹ , Х18Н9Т, Х18Н10Т, ОХ21Н5Т, Х17Н13М2Т, ВТ1 ⁵	Х18Н9Т, Х18Н10Т, ВТ1 ⁵
3	Хлористый водород, хлор	Ст. 3 ¹ , текстололит, древесина ³	Ст. 3 ¹ , текстололит, ОХ23Н28М3Д3Т, ВТ1 ⁵ , древесина ³	Ст. 3 ¹ , Х18Н9Т ⁶ , Х18Н10Т, Х17Н13М2Т, ОХ23Н28М3Д3Т	ОХ23Н28М3Д3Т

Продолжение

№ п/п	Химические компоненты, присутствующие в отводимых газах	Режим работы			
		Низкотемпературный сухой (до 100 °С, без конденсата)	Низкотемпературный влажный (до 100 °С, с конденсатом)	Высокотемпературный сухой (свыше 100 °С, без конденсата)	Переменный
4	Фтористый водород, фтор	Ст. 3 ¹ , древесина ³	Ст. 3 ¹ , ОХ23Н28М3Д3Т, древесина ³	ОХ23Н28М3Д3Т	ОХ23Н28М3Д3Т
5	Фосфорный ангидрид	Ст. 3 ¹ , текстололит, древесина ³	Ст. 3 ¹ , текстололит, Х18Н9Т, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т, ОХ21Н5Т, ОХ23Н28М3Д3Т, древесина ³	Ст. 3 ¹ , Х18Н9Т, Х18Н10Т, ОХ21Н5Т, Х17Н13М2Т, ОХ23Н28М3Д3Т	Х18Н9Т, Х18Н10Т
6	Сероводород, сероуглерод	Ст. 3 ¹ , АМц ² , текстололит, древесина ³	Ст. 3 ¹ , АМц ² , текстололит, ОХ13, Х17Н13М2Т, древесина ³	ОХ13, Х17Н13М2Т	Х17Н13М2Т

Примечания.¹ При низкотемпературном сухом: без защиты или с защитой эпоксидными материалами. При низкотемпературном влажном (t до 60 °С): для пп. 1 — 5 — защита гуммированием; для п. 6 — защита металлизацией, алюминием или цинком. При высокотемпературном сухом (t до 300 °С): защита кремнийорганическими материалами.

² При отсутствии соединений фтора и хлора и конденсата серной кислоты концентрации выше 50%.

³ Обработка фенолформальдегидной смолой и огнестойкой краской. При наличии конденсата кислот концентрации не более 10%.

⁴ Температура до 70 °С при отсутствии конденсата серной кислоты концентрации 40 — 80%.

⁵ Температура до 350 °С при отсутствии сухого хлора, а также конденсата соляной кислоты, не содержащего хлор.

⁶ Стали марок Х18Н9Т, Х18Н10Т, Х17Н13М2Т и ОХ23Н28М3Д3Т в данном случае применяются при t до 300 °С при наличии хлора и до 480 °С при наличии хлористого водорода.

Основными защитными материалами являются масляные краски для наружных работ, атмосферостойкие перхлорвиниловые (марок ПХВ и ХВ), эпоксидные (марок ЭП) и некоторые другие лакокрасочные материалы [81]. Выбор тех или иных лакокрасочных материалов определяется в зависимости от состава газа, его концентрации и влажности. По концентрации газы подразделяются на группы, оценка которых может быть сделана по табл. 4. В табл. 5 приведены рекомендуемые лакокрасочные покрытия для защиты несущих металлоконструкций и наружных поверхностей газоотводящих стволов, выполненных из малоуглеродистых и низколегированных сталей. При концентрациях газов, превосходящих указанные в табл. 4, защита конструкций осуществляется по специальному проекту.

Таблица 4

Группы газов в зависимости от их вида и концентрации

Наименование газов	Группа газов				
	А	Б	В	Г	Д
	Концентрация, мг/м ³				
Сернистый ангидрид	<0,5	0,5—10	11—200	201—1000	>1000
Фтористый водород	<0,02	0,02—5	5,1—10	11—100	>100
Сероводород	<0,01	0,01—10	11—200	201—2000	>2000
Окислы азота	<0,1	0,1—5	5,1—25	26—100	>100
Хлор	<0,1	0,1—1	1,1—5	5,1—10	>10
Хлористый водород	<0,05	0,05—5	5,1—10	11—100	>100

Примечание. При наличии в агрессивной среде нескольких газов, концентрация каждого из которых находится в пределах, указанных в таблице, степень их агрессивности принимается по наиболее агрессивному.

Защита зоны окутывания, подверженной коррозии в большей степени, чем другие элементы наружных поверхностей вытяжной башни, должна осуществляться по п. г, табл. 5. Усиленной защиты (по п. в и г) требуют конструкции, расположенные на высотах от 100 до 300 м, поскольку именно на этих высотах в промышленных городах чаще всего наблюдаются максимальные концентрации газообразных примесей, приводящих к увеличению скорости коррозии элементов металлических конструкций вытяжных сооружений, особенно элементов узлов, труднодоступных для окраски [64]. Окраска конструкций, эксплуатирующихся в условиях тропической влажности или в условиях Крайнего Севера, требует специальных рекомендаций.

Следует также отметить, что во всех вышеизложенных случаях вытяжные башни, являющиеся линейным препятствием, для безопасности полета самолетов в дневное время следует окрашивать в цвета согласно специальным инструкциям Гражданского воздушного флота СССР.

Антикоррозионная защита внутренней поверхности газоотводящих стволов вытяжных башен может осуществляться как

Таблица 5

Лакокрасочные покрытия для защиты несущих металлоконструкций
и наружных поверхностей газоотводящих стволов

Вариант покрытия	Грунт	Количество слоев	Покрывные слои	Толщина, мкм
------------------	-------	------------------	----------------	--------------

а) Газы группы А при относительной влажности до 75%

1	Железный сурик на олифе	1—2	Масляные краски (для наружных работ)	100—130
2	ФЛ-03К, ФЛ-03КК, ФЛ-045, ПФ-046, № 138, ГФ-020	1—2	Эмали: ПФ-115, ПФ-133	100—130

б) Газы группы А при относительной влажности более 75%
и газы группы Б при относительной влажности до 75%

1	ФЛ-03К, ФЛ-03КК, ФЛ-045, ГФ-020, № 138, ХВ-050, ХСГ-26, ХС-010 *, ХС-068 *	2	Эмали: ПХВ (атмо- сферостойкие), ХВ-113, ХВ-124, ХВ-125, ПХВ-512	130—150
2	Разбавленные шпатлевки: ЭП-00-10, Э-4020, Э-4022	1	Эмали: ЭП-56, ЭП-733 Шпатлевки: ЭП-00-10, Э-4020, Э-4022	130—150

в) Газы группы Б при относительной влажности более
75%, газы группы В с влажностью до 75% и газы групп
Г и Д с влажностью до 60%Варианты покрытия, грунты и т. д. принимаются по п. б.,
кроме эмалей ХВ и ЭП-56г) Газы группы В с влажностью более 75% и газы групп
Г и Д с влажностью более 60%Варианты покрытия, грунты и т. д. принимаются по п. б.,
кроме эмалей ХВ и ЭП-56Примечание. Звездочкой обозначены грунты, которые применяются только
по поверхности, обработанной пескоструйным аппаратом.

органическими, так и неорганическими материалами. Однако в настоящее время отсутствуют достаточно обоснованные и проверенные решения по антикоррозионной защите, обеспечивающей долговременную эксплуатацию газоотводящих стволов вытяжных башен, выполненных из малоуглеродистых сталей, например марки Ст.3. Для низкотемпературного сухого режима эксплуатации газоотводящих стволов, а в некоторых случаях и для высокотемпературного сухого (t до 150°C), можно рекомендовать защиту эпоксидными лакокрасочными материалами, теплостойкость которых колеблется в пределах от 100 до 150°C .

При низкотемпературном влажном режиме внутреннюю поверхность ствола, изготовленного из Ст.3, обычно защищают резиновым покрытием — гуммируют [3, 76]. Защита материалами на основе каучуков — резинами, эбонитами, герметиками, так называемое гуммирование, выполняется в основном обкладкой сырыми невулканизированными листовыми материалами с их последующей вулканизацией в специальных камерах. Подобная защита чаще всего практикуется при температуре отводимых газов не выше 60°C и при образовании в газоотводящем стволе конденсата кислот соляной, фтористоводородной, сернистой, серной (последняя не выше 50%) и некоторых других, за исключением азотной. Наиболее часто применяется трехслойная резиновая обкладка, состоящая из мягкой резины № 1976 толщиной $1,5$ мм, гибкого эбонита № 2169 толщиной 3 мм и резины № 1476 — $1,5$ мм, всего толщиной 6 мм. Надежной защитой является также обкладка резиной № 2566 (3 — 4 мм) или резиной № 829 той же толщины. При гуммировании внутренней поверхности газоотводящего ствола вытяжной башни обычно одновременно гуммируют наружную часть ствола, находящуюся в зоне окутывания, а также все фланцы и болты.

При более высоких температурах и отсутствии фтористоводородной кислоты в составе отводимых газов можно рекомендовать трехслойные лакокрасочные покрытия на основе кремнийорганических материалов КО-813, КО-198 (t до 300°C) и ВН-30 (t до 400°C), которые, однако, не всегда являются достаточно эффективными.

В некоторых случаях, например в среде сероводорода, рекомендуются металлизационные покрытия алюминием или цинком, достаточно устойчивые в этой среде. При использовании металлизационных покрытий целесообразно подвергнуть их поверхность дополнительной обработке лаками, например эпоксидными, или лакокрасочными материалами на термостойкой основе — кремнийорганическими (теплостойкость 300 — 400°C). Металлизационно-лакокрасочные покрытия более долговечны и устойчивы [62].

Более перспективными и уже применяемыми на промышленных предприятиях в некоторых странах Западной Европы являются неорганические футеровочные материалы типа пеностекла

[99]. Они являются одновременно термоизоляторами, предотвращающими теплопотери и, тем самым, образование конденсата на внутренней поверхности ствола. Использование их эффективно при отсутствии в составе отводимых газов фтористоводородной и кремнефтористоводородной кислот, а также концентрированного щелочного конденсата, разрушающих силикатные материалы.

§ 5. Техничко-экономическая оценка и вопросы типизации

Одним из основных принципов современного строительного проектирования является экономическая целесообразность принимаемых проектных решений, направленных на создание оптимального для заданных условий сооружения. Помимо полного соответствия технологическим требованиям, требованиям необходимой прочности и долговечности, сооружение должно быть экономично по затрате материалов и средств на его возведение. Оно должно отвечать требованиям удобства и минимальных затрат при эксплуатации.

В методических рекомендациях [77] предлагается оценивать экономическую эффективность разрабатываемых конструкций по следующей номенклатуре показателей:

- стоимость в деле (сметная стоимость или себестоимость), руб.;
- годовые капиталовложения в организацию производственной базы, руб. в год;
- годовые эксплуатационные расходы, руб. в год;
- сроки возведения сооружения, мес.;
- приведенные затраты, руб.;
- масса конструкций и расход основных материалов, т;
- трудоемкость изготовления и монтажа, чел.-дн.

Для проведения сравнительных расчетов по стальным конструкциям и фундаментам вытяжных башен количество технико-экономических показателей можно ограничить стоимостью, трудоемкостью изготовления и монтажа и весом конструкций с обязательным учетом эксплуатационных расходов. Основным критерием при выборе варианта конструкции является минимум приведенных затрат, при равенстве этого показателя в сравниваемых вариантах предпочтение отдается варианту с меньшей трудоемкостью изготовления и монтажа, и, наконец, при равных приведенных затратах и трудоемкости изготовления принимается вариант конструкции с минимальным весом.

Для возможности сравнения все технико-экономические показатели определяются на расчетную единицу измерения, в качестве которой для сооружений типа труб и башен рекомендуется сооружение в целом [77]. Для вытяжных башен при многообразии их типоразмеров и различных районах строительства сопоставление технико-экономических показателей на сооружение будет достаточным только в случае, когда рассматриваются варианты конструкций сооружения одного конкретного объекта.

При этом могут быть рассмотрены и такие варианты, когда одни и те же технологические и санитарно-гигиенические требования к вытяжным башням будут удовлетворены при различной совокупности высоты и диаметра газоотводящего ствола.

В качестве примера можно привести результаты выполненного институтом ВАМИ технико-экономического сравнения вариантов при выборе габаритов вытяжной башни для Березниковского титано-магниевого комбината (табл. 6). Из табл. 6 следует, что по размерам приведенных годовых затрат оптимальным вариантом следует считать вытяжную башню высотой 75 м с диаметром газоотводящего ствола 2,5 м. Однако к исполнению был принят вариант вытяжной башни высотой $H=120$ м, $D=4$ м (рис. 6): существующие на месте тягодутьевые устройства не могли создать необходимый напор в газоотводящем стволе, имеющем размеры по оптимальному варианту, а замена их на новые оказалась экономически нецелесообразной.

При технико-экономическом сопоставлении проектных решений вытяжных башен различного целевого назначения, находящихся в различных климатических районах, приведенная выше методика сравнения всех расходов и затрат, отнесенных к сооружению в целом, естественно, не может быть признана достаточно правомерной. В этом случае за единицу измерения следует принять 1 м высоты сооружения или 1 м³ объема газоотводящего ствола. Но даже и эти единицы измерения не вполне обеспечивают сопоставимость проектных решений вытяжных башен и дополнительно требуют введения обобщающего параметра, учитывающего нагрузку. В качестве такого параметра для одноствольных вытяжных башен можно принять величину скоростного напора ветра на 1 м длины газоотводящего ствола на уровне половины высоты сооружения Dq . Для многоствольных вытяжных башен этот параметр также может быть использован, но числовая величина его равна соответствующему суммарному скоростному напору на все газоотводящие стволы с учетом их взаимного расположения.

Учитывая, что стоимость металла является главной составляющей стоимости конструкции (до 70—75% общей стоимости сооружения), а трудоемкость, как правило, пропорциональна массе, основным мероприятием по снижению стоимости и трудоемкости является снижение массы конструкций. Критерием оптимальности решений в данном случае могут служить закономерности изменения весовых показателей, определенные в зависимости от специфических для каждого сооружения параметров [31, 33, 52, 58 и др.]. Для вытяжных башен высотой до 200 м с одним газоотводящим стволом и четырехгранной несущей башней на основании обобщения многолетнего опыта проектирования этих сооружений получены так называемые законы изменения показателей веса несущих конструкций по высоте (рис. 46) и по объему (рис. 43) [13] в функции от осредненного

Капитальные затраты и годовые расходы по эксплуатации рассмотренных вариантов вытяжной башни
Березниковского титано-магниевого комбината

Варианты	Геометрические размеры		Масса металлоконструкций		Строительная стоимость, тыс. руб.			Скорость газов в газоотводящем стволе, м/с	Напор газов в газоотводящем стволе, Н, М ²	Годовой расход эл. энергии, тыс. кВтч	Годовые эксплуатационные расходы, тыс. руб.			Капитальные затраты с учетом коэффициента эффективности — 0,15, тыс. руб./год	Суммарные приведенные затраты, тыс. руб./год
	высота, м	диаметр, м	башни, т	ствола, т	башни с фундаментом	ствола из титана	общая стоимость				Стоимость электроэнергии	Амортизационные расходы	Ремонтные расходы		
1	150	5	273	52,2	98,5	468	566,5	8,4	—22	—	—	22,6	2,96	84,98	110,54
2	135	4,5	204	42,5	75	382	457	10,4	+25	35 200	0,352	18,3	2,24	69,55	90,44
3	120	4	147,5	33,4	53,4	292	345,4	13,1	+94	133 000	1,33	13,8	1,6	51,81	68,54
4	105	3,5	104	25,8	37,8	232	269,8	17	+225	316 000	3,16	10,8	1,13	40,47	55,56
5	90	3	70	18,7	25,4	168	193,4	23,2	+466	660 000	6,6	7,7	0,765	29,01	44,07
6	75	2,5	41,6	13	15,5	117	132,5	33,6	+1065	1,5×10 ⁶	15	5,3	0,465	19,88	40,64
7	60	2	23,6	8,5	8,6	76	84,6	52,2	+2644	3,7×10 ⁶	37,4	3,4	0,257	12,69	53,75

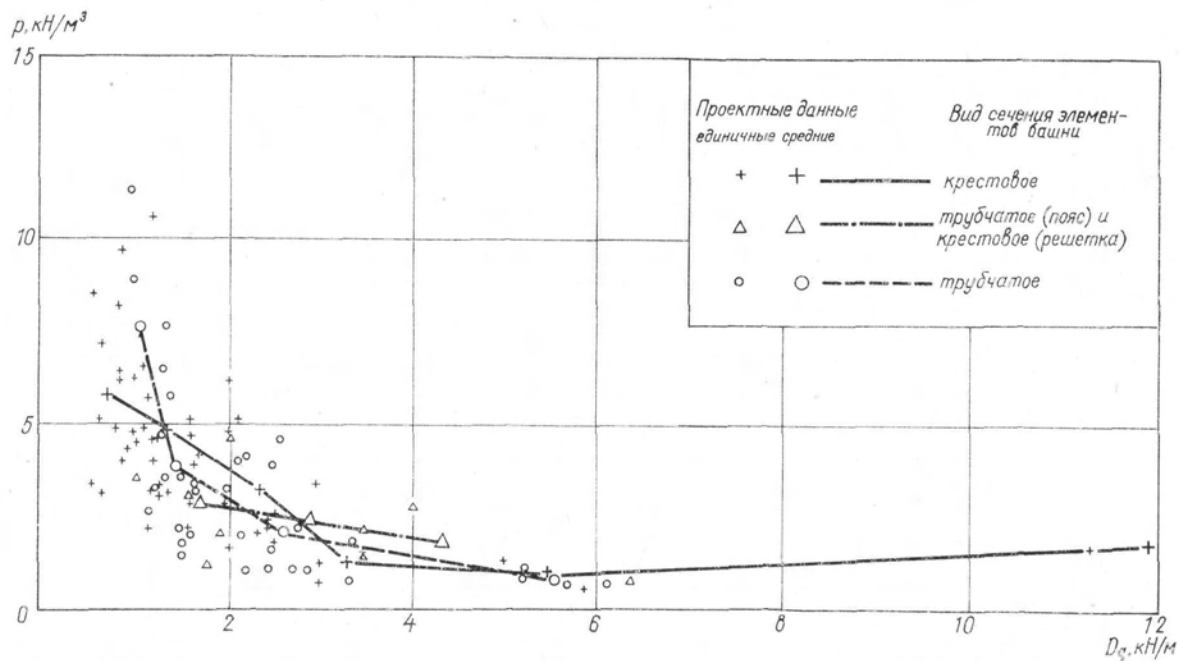


Рис. 43. Зависимость показателя веса несущих конструкций по объему от давления ветра на трубу Dq на половине высоты трубы

параметра нагрузки Dq Эти показатели дифференцированы в зависимости от типа сечения поясов и решетки башни. Сравнение показателей веса для вновь разрабатываемых вытяжных башен с зависимостями, приведенными на рис. 43 и 45, позволяет получить первоначальную технико-экономическую оценку их проектных решений.

Совершенствование конструктивных решений и методики расчета вытяжных башен привело в последние годы к снижению веса несущих конструкций, что наглядно характеризуется

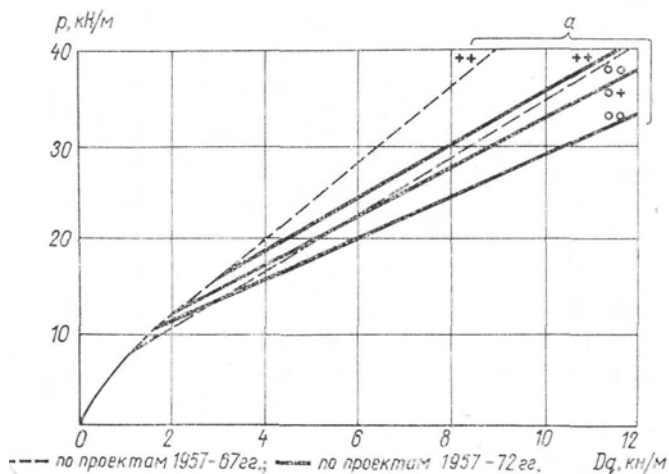


Рис. 44. Изменение показателя веса несущих конструкций вытяжных башен во времени (по материалам ЛО ЦНИИ «Проектстальконструкция»)

a — тип сечения соответственно поясов и решетки башни

изменением показателя веса сооружения в различные периоды проектирования [25] (рис. 44)

Детальный технико-экономический анализ в количественных данных по другим, отмеченным выше показателям, в настоящее время нуждается еще в методической доработке. Выполненное обобщение имеющегося опыта проектирования, изготовления, монтажа и эксплуатации вытяжных башен дало возможность провести только качественную оценку экономичности проектных решений по снижению трудозатрат на заводах-изготовителях и на монтажной площадке, а также по снижению эксплуатационных расходов. Этим анализом сопровождается описание всех конструктивных решений вытяжных башен в предыдущих параграфах настоящей главы.

Ниже приводятся общие требования, выполнение которых в процессе проектирования способствует созданию экономичных металлоконструкций:

для повышения технологичности изготовления и монтажа [11]:

- наименьшее количество применяемых марок стали и профилей проката;
- конструктивные решения, позволяющие широко использовать высокоэффективные механизированные способы обработки, сборки в кондукторах и по копирам, автоматическую сварку;

- максимальная типизация конструкций и деталей;
- конструктивные решения, обеспечивающие высокое качество конструкций и соединений (сварных, болтовых),
- наименьшее количество сварных швов с минимальными деформациями и напряжениями от сварки;

- открытые, простые в изготовлении и удобные при монтаже заводские и монтажные соединения элементов конструкций;

- рациональная разбивка на отправочные элементы;

для снижения эксплуатационных расходов:

- выбор наиболее эффективных материалов и способов их защиты от коррозии;

- увеличение срока продолжительности и нормальной эксплуатации между текущими и капитальными ремонтами; обеспечение возможности проведения этих ремонтов с минимальным нарушением нормального технологического процесса производства;

- создание достаточно удобных условий для периодического осмотра наиболее ответственных элементов сооружения.

Следующим этапом повышения экономической эффективности строительства является его максимальная индустриализация, основанная на поточном изготовлении и скоростном монтаже. Практическая реализация этого важного положения требует в первую очередь унификации и типизации сооружений, которые могут иметь два направления [39]: общая — унификация и типизация сооружений разного назначения; внутренняя — унификация и типизация сооружений одного и того же назначения.

Для вытяжных башен направление общей унификации и типизации (совместно с другими высокими сооружениями башенного типа — телевизионными башнями, опорами радиорелейных линий и т. д.) неприемлемо в силу существенной специфики функционального назначения этих сооружений. Внутренняя унификация вытяжных башен подразумевает выполняемую в указанной ниже последовательности унификацию следующих их параметров и характеристик:

- габаритные схемы газоотводящих стволов и стальных конструкций несущих башен;

- нагрузки;

- схемы решетки башни;

- профили элементов и узловое соединения (заводские и монтажные)

В настоящее время завершен только первый этап комплексной внутренней унификации вытяжных башен с одним газоотводящим стволом высотой до 200 м [56]. На основе анализа 115 индивидуальных проектов сооружений установлено 63 типа габаритных схем при 32 различных размерах диаметров и 19 высот газоотводящих стволов. Количество габаритных схем ничем не ограничивалось и имело явную тенденцию к увеличению по мере

возрастания общего количества индивидуальных проектов вытяжных башен (рис. 45).

В целях унификации дальнейшая обработка проектных данных по размерам газоотводящих стволов потребовала составления таблицы распределения (табл. 7) [38]. Разряды таблицы обозначены величиной их средних значений, которые приняты в соответствии с требованиями Единой модульной системы [86]

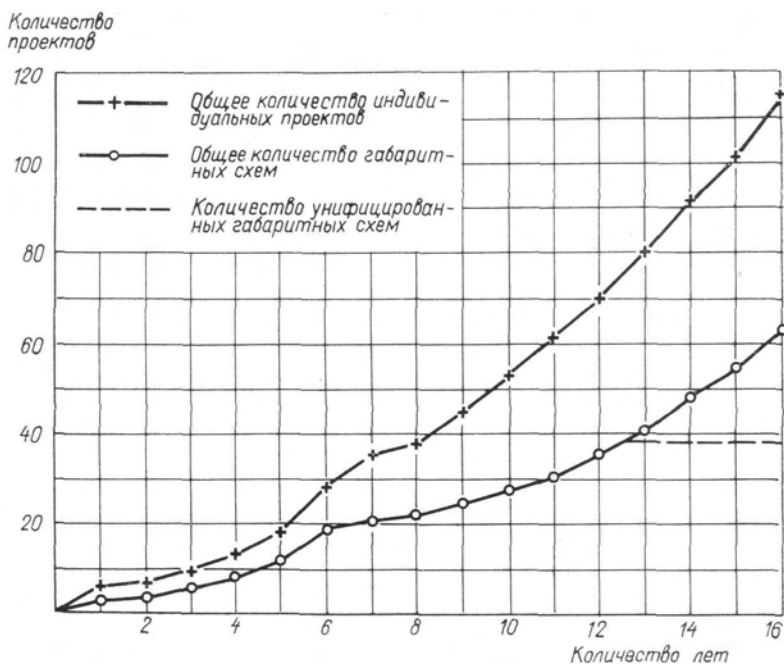


Рис. 45. Количество выполненных проектов вытяжных башен $H \leq 200$ м за 1957—1972 гг. (по материалам ЛО ЦНИИ «Проект-стальконструкция»)

и учетом взаимной увязки с унифицированными габаритами свободно стоящих дымовых труб. Анализ табл. 7 выявил целесообразность переменной градации основных размеров газоотводящих стволов: более частую в области их большей повторяемости и более редкую — в малой [58]. Установленные таким образом габаритные схемы газоотводящих стволов вытяжных башен сведены в табл. 8.

Унифицированные габаритные схемы стальных конструкций вытяжных башен включают в себя также и размер башни в основании. Своевременно предусмотренная величина его необходима для правильного размещения на генплане и сооружения, и подводящих газоходов в комплексе с общезаводскими

Таблица 7

Таблица распределения высот H и диаметров D газоотводящих стволов вытяжных башен (по материалам ЛО ЦНИИ ПСК за 1957—1972 гг.)

Высота H , м	Диаметр газоотводящего ствола D , м											Σ	
	0,6	1,2	1,8	2,4	3,0	3,6	4,2	4,8	5,4	6,0	6,6		7,2
45	2	6	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	9
60	3	1	6	5	—	—	—	—	—	—	—	—	15
75	—	2	13	2	6	1	3	—	—	—	—	—	27
90	—	—	3	—	1	—	—	—	—	—	—	—	4
105	—	2	7	2	3	2	2	1	—	2	—	1	22
120	—	—	3	4	9	—	6	1	1	4	1	1	30
135	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2
150	—	1	1	—	—	1	—	—	—	—	—	—	3
165	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
180	—	—	—	2	—	—	—	—	—	—	—	1	3
195	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Σ	5	12	35	16	19	4	11	2	1	6	1	3	115

Таблица 8

Унифицированные габаритные схемы газоотводящих стволов вытяжных башен

Высота H , м	Внутренний диаметр D , м									
	0,6	1,2	1,8	2,4	3,0	3,6	4,2	4,8	6,0	7,2
45	0,6	1,2	—	—	—	—	—	—	—	—
60	0,6	1,2	1,8	2,4	—	—	—	—	—	—
75	—	1,2	1,8	2,4	3,0	3,6	—	—	—	—
90	—	1,2	1,8	2,4	3,0	3,6	4,8	6,0	—	—
120	—	—	1,8	2,4	3,0	3,6	4,8	6,0	7,2	—
150	—	—	1,8	2,4	3,0	3,6	4,8	6,0	7,2	—
180	—	—	1,8	2,4	3,0	3,6	4,8	6,0	7,2	—

Таблица 9

Унифицированные габаритные схемы стальных конструкций вытяжных башен

Высота H , м	Размер башни в основании при внутреннем диаметре газоотводящего ствола, м									
	0,6	1,2	1,8	2,4	3,0	3,6	4,8	6,0	7,2	—
45	6	6	—	—	—	—	—	—	—	—
60	8	8	8	8	—	—	—	—	—	—
75	—	10	10	10	10	10	—	—	—	—
90	—	14	14	14	14	14	16	16	—	—
120	—	—	16	16	16	16	18	18	18	—
150	—	—	20	20	20	20	22	22	22	—
180	—	—	25	25	25	25	28	28	28	—

коммуникациями. Унифицированный размер башни в плане установлен из зависимости расхода металла на сооружение от величины этого размера. В табл. 9 полностью сведены все унифицированные габариты схем сооружений. Они могут быть рекомендованы при составлении технологических заданий на строительное проектирование таких сооружений.

ГЛАВА III НАГРУЗКИ

§ 1. Состав и сочетания нагрузок, действующих на вытяжные башни

На вытяжные башни могут действовать все или некоторые из следующих силовых воздействий:

- вес конструкций;
- технологические и монтажные нагрузки;
- атмосферные воздействия.

Все возможные нагрузки в соответствии с действующими нормами «Нагрузки и воздействия» СНиП II-6—74 подразделяются на постоянные и временные (длительные, кратковременные и особые). Полный состав нагрузок и воздействий на стальные конструкции вытяжных башен, коэффициенты перегрузки n и некоторые указания по методике определения нагрузок приведены в табл. 10.

Нагрузки, величина которых определяется по технологическим данным, оговариваются в задании на проектирование сооружения. Все технологические нагрузки и воздействия, относящиеся к категории длительных нагрузок, соответствуют условиям нормальной эксплуатации сооружения; воздействия на сооружение в моменты начала и остановки технологического процесса, а также во время испытаний оборудования относятся к категории кратковременных, а при резких нарушениях технологического процесса — к особым.

При определении атмосферных воздействий на вытяжные башни, помимо главы СНиП «Нагрузки и воздействия» [89], необходимо привлекать соответствующие специальные указания [68, 100, 101] и главы СНиП [87, 90].

Учитывая практическую невозможность одновременного воздействия сочетания нагрузок расчетных величин, вводится коэффициент сочетаний n_c , который используется в качестве множителя для расчетных значений нагрузок. Величина коэффициентов сочетаний зависит от состава сочетаний, определяемого видами и количеством одновременно учитываемых воздействий и нагрузок. За одну кратковременно действующую нагрузку может приниматься и совокупность нескольких нагрузок, если появление и величина их взаимосвязаны. Связь эта учитывается

специальными коэффициентами. Для вытяжных башен к такой нагрузке относится сочетание гололеда с ветровой нагрузкой, (скоростной напор ветра принимается в размере 25% от ураганного).

Наиболее характерные для вытяжных башен сочетания действующих нагрузок и коэффициент сочетаний для них приведены в табл. 10.

Состав постоянных и длительно действующих нагрузок в соответствующих сочетаниях может быть различным для отдельных элементов вытяжной башни и для всей несущей конструкции сооружения.

Для расчета башни как несущей конструкции сооружения в основное сочетание нагрузок входят все фактически действующие и оговоренные заданием постоянные и длительные нагрузки, а также ветровая нагрузка (при ураганном действии ветра), для которой коэффициент сочетания $n_c=1$. Одновременный учет нескольких кратковременных нагрузок с понижающими коэффициентами сочетания $n_c=0,9$ для вытяжных башен, как правило, не дает расчетных сочетаний. Так, не требуется проверки несущей способности башни на действие сочетания, включающего одновременно ветровую нагрузку на сооружение и полезную нагрузку на площадках-диафрагмах (с коэффициентом сочетания $n_c=0,9$). Аналогично в большинстве случаев нет необходимости расчета башни на сочетание с гололедно-ветровой нагрузкой.

Несущая башня сооружения допускает восприятие нагрузок в период монтажа, если он осуществляется методом поэлементной сборки в проектном положении. При ином методе монтажа требуется специальная проверка конструкции и ее элементов. При этом расчетные значения кратковременных нагрузок следует снижать на 20% [89]. Конструкции на специальные условия монтажа проверяют при разработке проекта организации работ или при проектировании сооружения, если эти условия оговорены в задании.

В башнях с предварительно напряженной решеткой воздействия от предварительного натяжения определяются расчетом.

Необходимость учета при расчете башни особых сочетаний зависит от величины особых воздействий и устанавливается специальным заданием. Как показывает опыт проектирования вытяжных башен, особое сочетание нагрузок при сейсмических воздействиях в 7—8 баллов не является расчетным, поскольку в этом случае по СНиПу [90] не учитывается ветровая нагрузка и принимается повышающий коэффициент условия работы.

Элементы площадок-диафрагм рассматриваются в общей системе сооружения и дополнительно проверяются на вертикальные воздействия от полезной нагрузки, снега и пыли с соответствующими коэффициентами сочетания n_c .

Состав нагрузок и воздействий на стальные конструкции вытяжных башен, коэффициенты перегрузки n и коэффициенты сочетаний n_c

Категория нагрузки	Наименование нагрузки или воздействия	Коэффициенты перегрузки n	Методика определения нагрузки	Коэффициенты сочетаний n_c			Примечание	
				Основные сочетания	Особые сочетания			
Постоянная	Вес несущих конструкций башни, площадок, лестниц	1,1(0,9)	По проектным данным, справочным материалам, каталогам, а также по гл. III, § 2	1,0	1,0	1,0	—	
	Воздействие предварительного напряжения решетки башни	0,9—1,1	В соответствии с расчетом	1,0	1,0	1,0	Только для вытяжных башен с предварительно напряженной решеткой	
Временная	Длительная	Вес газоотводящего ствола, лифта	1,2	По справочным материалам, каталогам	1,0	1,0	1,0	—
		Вес теплоизоляции, противокоррозионного покрытия газоотводящего ствола	1,2	По технологическим данным	1,0	1,0	1,0	—
		Давление отводимых газов в газоотводящем стволе	1,0	По технологическим данным	1,0	1,0	1,0	—
		Температурные деформации газоотводящего ствола	1,0	По расчету в соответствии с технологическими данными	1,0	1,0	1,0	Для расчета компенсаторов и деталей горизонтального опирания газоотводящего ствола

Категория нагрузки	Наименование нагрузки или воздействия		Коэффициенты перегрузки n	Методика определения нагрузки	Коэффициенты сочетаний n_c			Примечание		
					Основные сочетания	Особые сочетания				
Временная	Длительная									
	Вес конденсата, твердых отложений на стенках ствола, вес пыли на площадках-диафрагмах		1,2	По технологическим данным	1,0	1,0	1,0	—		
	Кратковременная	Полезная нагрузка: вес людей, деталей, ремонтных материалов при осмотре, ремонте сооружения	Равномерно распределенная нагрузка	1,4	2 кН/м ² на покрытой настилом площади диафрагмы	1,0 при учете одной кратковременной нагрузки	0,9 при учете двух и более кратковременных нагрузок	0,8 при учете всех возможных кратковременных нагрузок	Для расчета площадок-диафрагм, лестниц, ограждений	
			Сосредоточенная вертикальная и горизонтальная нагрузки	1,2	По [89]					
		Снеговые нагрузки		1,4	По [89]					—
		Ветровые нагрузки		1,3	По [89, 101], с учетом зонального действия ветра по [100]					—
Гололедные нагрузки		1,3	По [89]	—						
Температурные климатические воздействия		1	По [87, 100]	—						

Продолжение табл. 10

Категория нагрузки	Наименование нагрузки или воздействия		Коэффициенты перегрузки n	Методика определения нагрузки	Коэффициенты сочетаний n_c			Примечание
					Основные сочетания	Особые сочетания		
Временная	Кратковременная							
	Нагрузки при кратковременных испытаниях оборудования			По технологическим данным	1,0 при учете одной кратковременной нагрузки	0,9 при учете двух и более кратковременных нагрузок	0,8 при учете всех возможных кратковременных нагрузок	—
	Непродолжительные температурные воздействия при пуске и остановке производственного процесса			То же				Для расчета компенсаторов и деталей горизонтального опирания газотводящего ствола
	Монтажные нагрузки	На все виды нагрузок (кроме атмосферных) в стадии монтажа	1,1	В соответствии со способом производства монтажа				—
	Особая	Сейсмические воздействия		—	По [90]	—	—	n_c для нагрузок всех категорий по [90]
		Нагрузки, вызванные резкими нарушениями технологического процесса		1,2	По технологическим данным	—	—	При учете одной из возможных особых нагрузок
Взрывные воздействия			По специальным данным	—	—	—		
Воздействия просадок основания			То же	—	—	—		

Примечание. Указанные в скобках значения коэффициентов перегрузки принимаются в тех случаях, когда уменьшение нагрузок создает более неблагоприятные условия работы конструкций, в частности при проверке устойчивости положения сооружения, при определении расчетных растягивающих усилий и расчете анкерных болтов.

Газоотводящий ствол рассчитывается на вертикальные воздействия от веса ствола и оговоренных заданием весов антикоррозионного покрытия, теплоизоляции, конденсата и иных отложений на его стенках, а также на горизонтальную ветровую нагрузку и избыточное давление отводимых газов, приложенных нормально к оболочке ствола. Коэффициенты сочетаний определяются в соответствии с составом учитываемых одновременно воздействий по данным табл. 10.

Основными нагрузками для вытяжных башен, как и для всех высоких сооружений, являются воздействия ветра и веса конструкций, величина которых находится в прямой зависимости от размеров сооружения, размеров и типов сечений всех его элементов. Вследствие этого сбору нагрузок на вытяжные башни предшествует конструктивная проработка сооружения, т. е. определяются не только геометрическая и статическая схемы, но также устанавливаются типы и размеры сечений основных элементов башни, принципиальные решения узлов.

Ниже приведена методика сбора следующих нагрузок:

вес конструкций несущей башни и газоотводящего ствола;
ветровые нагрузки;
снеговые нагрузки и нагрузки от пылевых отложений;
температурные воздействия.

Методика определения этих нагрузок разработана на основе действующих нормативных указаний с дополнениями чисто практического характера, а также с учетом обобщения опыта проектирования и результатов некоторых экспериментальных исследований.

§ 2. Методика определения веса конструкций

Нормативная величина веса конструкций несущей башни может быть определена либо поэлементным подсчетом при предварительно принятых размерах элементов сооружения, либо путем сопоставления с весовыми показателями запроектированных ранее аналогичных сооружений.

При поэлементном подсчете веса значение его для основных элементов башни определяется по справочным материалам, каталогам, ГОСТам по типу их профиля и размерам. На основании опыта проектирования вес конструктивных элементов — фансонок, сварных швов, прокладок, заглушек, болтов и т. п. — учитывается умножением веса основных элементов на коэффициент 1,2.

Определение массы башни путем непосредственного сопоставления с весовыми показателями запроектированных ранее сооружений осложнено влиянием на вес башни различных характеристик сооружения. К их числу относятся технологические параметры: высота H и диаметр D газоотводящего ствола, отметка ввода газоходов; особенности конструктивного решения: схема и геометрические размеры башни, тип сечений элементов

башни, тип узловых соединений и др.; и, наконец, район строительства, обуславливающий величину ветровой нагрузки. Однако обобщение данных большого количества проектов вытяжных башен высотой до 200 м с одним газоотводящим стволом и четырехгранной несущей башней позволило разработать практический прием определения веса несущей башни для такого типа сооружений. Этот прием сводится к определению веса башни по номограмме. Номограмма распространяется на сооружения, башни которых выполнены из трубчатых стержней, стержней крестового профиля, а также на башни с поясами трубчатого сечения и решеткой крестового профиля.

В качестве весового показателя несущей башни принято отношение ее веса (включая вес площадок, лестниц, ограждений) к высоте сооружения, так называемый «показатель веса по высоте» [13]. Значение его, отнесенное к стали марки ВСт. 3, колеблется в пределах 4—47 кН/м. Для дальнейшего практического приложения величина этого показателя систематизирована в зависимости от основных параметров сооружения, совместное влияние которых оценивается величиной скоростного напора на 1 м длины газоотводящего ствола на отметке, равной половине высоты сооружения Dq (рис. 46). Точки на рис. 46 соответствуют индивидуальным проектным данным. Обобщение их приводит к определенной зависимости между показателем веса башни по высоте p и показателем Dq (в кН/м). С достаточной для практических целей степенью точности эта зависимость принята линейной.

Так для башни из стержней трубчатого сечения она имеет вид:

$$p_{\infty\infty} = 22Dq + 7. \tag{1}$$

Для башни с поясами из труб и решеткой крестового профиля соответственно:

$$p_{\infty+} = 26Dq + 7. \tag{2}$$

Для башни, все элементы которой выполнены из стержней крестового профиля, зависимость p от Dq (в кН/м) принята в виде:

$$p_{++} = 28Dq + 8. \tag{3}$$

Пользуясь формулами (1) — (3), получим выражение, определяющее вес башни:

$$P = pH. \tag{4}$$

Таким образом, вес несущей башни может быть определен аналитически при известных по технологическому заданию габаритных размерах газоотводящего ствола и ветровой характеристике района строительства.

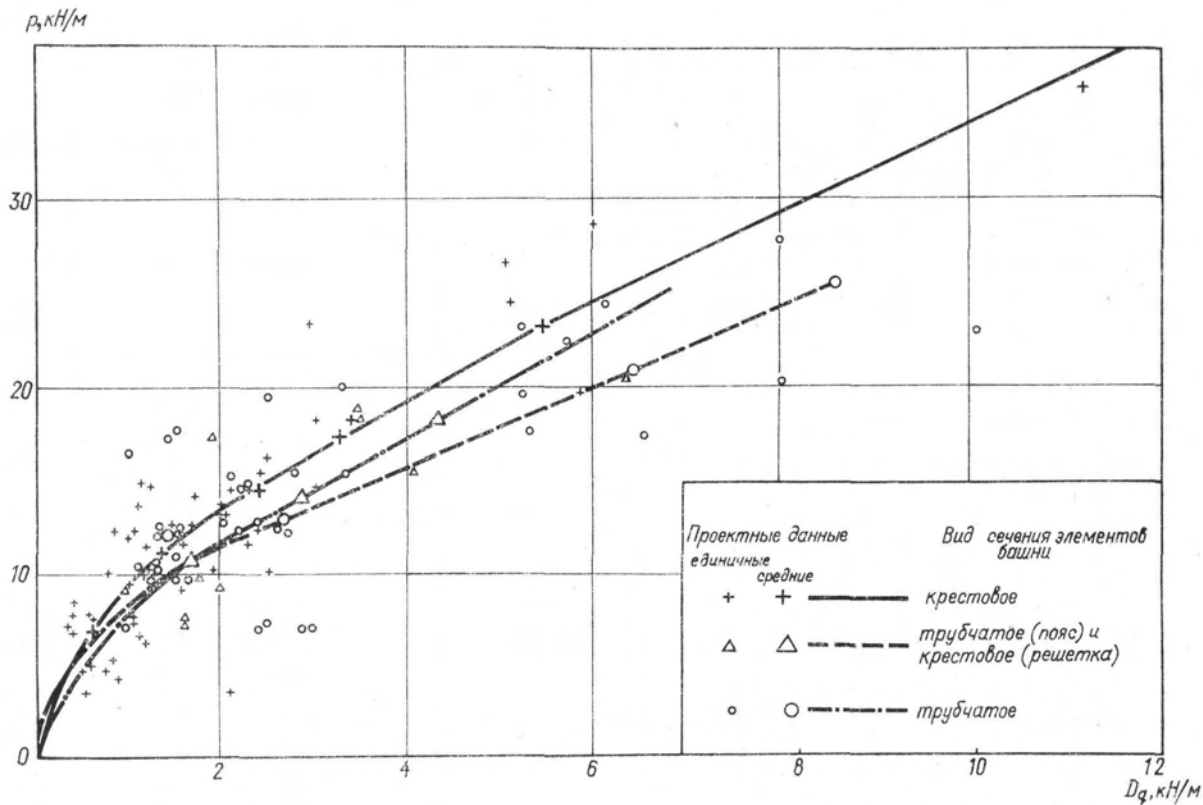


Рис. 46. Зависимость показателя веса несущих конструкций по высоте от давления ветра на трубу Dq на половине высоты трубы

На основе зависимостей (1) — (4) построена номограмма (рис. 47), позволяющая по тем же известным параметрам сооружения определить искомый вес непосредственно, исключая все промежуточные вычисления. Номограмма содержит профили нормативного скоростного напора q_0 для I—VII районов СССР с учетом поправочного коэффициента k на изменение напора по высоте Я (по СНиПу [89]) до высоты 100 м, графически представленные зависимости (1) — (3) с обозначениями типов сечений основных элементов башни, соответствующих каждой из них, и линии, характеризующие диаметры газоотводящего ствола и высоту сооружения. В процессе пользования номограммой последовательно определяются следующие показатели: значение q_0 на отметке, равной половине высоты сооружения, параметр Dq , показатель веса по высоте p и, наконец, вес конструкций несущей башни P . Ниже приводится пример пользования номограммой.

Требуется определить вес конструкций несущей башни из элементов трубчатого сечения для газоотводящего ствола диаметром $D=2$ м и высотой 100 м, проектирующейся для местности типа А в V ветровом районе.

В левом нижнем углу номограммы (см. рис. 47) на кривой, относящейся к V ветровому району (тип А), находят точку при $H/2=50$ м и через нее проводят горизонталь, пересечение которой с вертикальной осью определяет величину нормативного скоростного напора $q_0=1,16$ кН/м². Далее по той же горизонтали на прямой $D=2$ м получают значение $Dq=2,32$ кН/м. Затем по вертикали в точке пересечения с графиком, обозначенным кружками (трубчатые сечения), находят вес башни, отнесенный к 1 м длины сооружения $p=12,1$ кН/м. Проведя горизонталь в верхнюю левую часть номограммы до точки, соответствующей $H=100$ м (между прямыми, обозначенными Я=90 и Я=120), и опустив вертикаль до шкалы, указывающей вес башни, получают его искомую величину $P=1210$ кН.

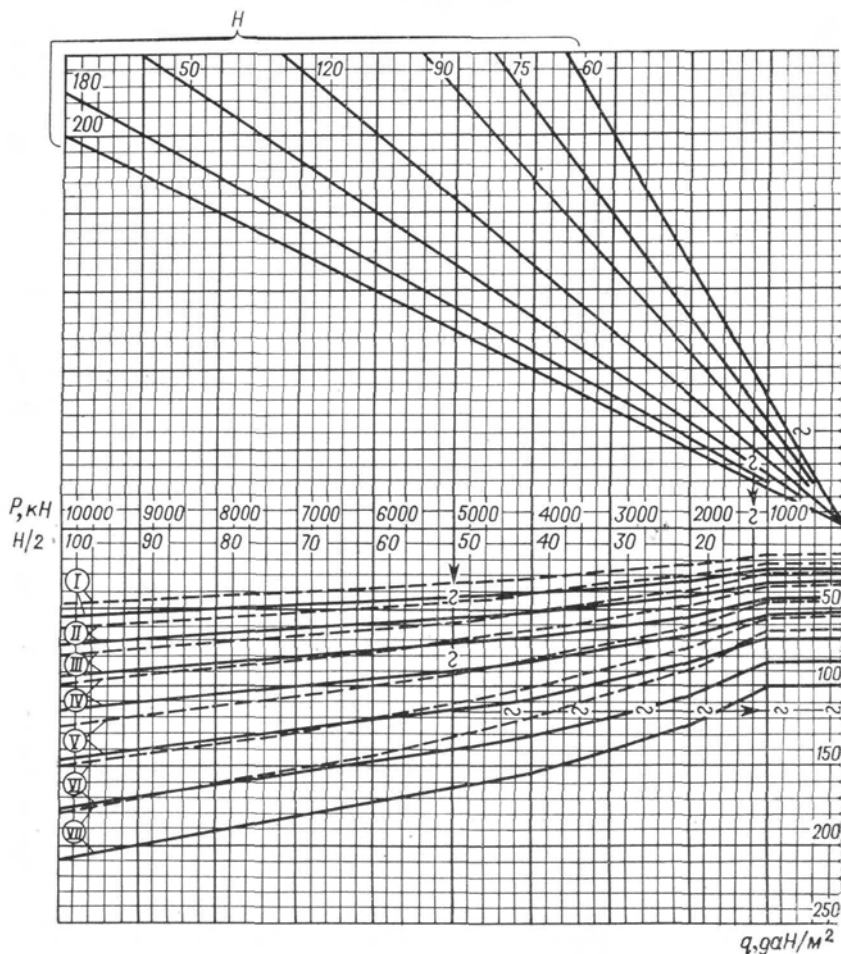
Вес башни, полученный по номограмме, является нагрузкой для расчета сооружения; он может быть использован для предварительного определения расхода стали. Эта величина веса справедлива для сооружения из малоуглеродистых сталей с расчетным сопротивлением 210 МПа. Применяя в сооружении стали с более высоким расчетным сопротивлением, необходимо ввести поправку на величину веса в виде множителя $210 \times 1,2/R$, где 1,2 учитывает в среднем различие в значениях коэффициента φ продольного изгиба для малоуглеродистых и низколегированных сталей повышенной прочности. В случае применения сталей повышенной прочности только для поясов несущей башни указанная поправка вводится на 40% веса сооружения, определенного по номограмме.

Полученный вес несущей башни P прикладывается в виде вертикальной узловой нагрузки на все пояса башни в уровне

диафрагм. Суммарная нагрузка для каждого участка башни по высоте в уровне соответствующей диафрагмы P_d определяется по формуле:

$$P_d = 2P \{h [AH_6 - (A-a) H_d]\} : [H_6^2 (A+a)], \quad (5)$$

где A и a — соответственно размер нижнего и верхнего оснований грани башни, м;
 H_6 — высота башни, м;



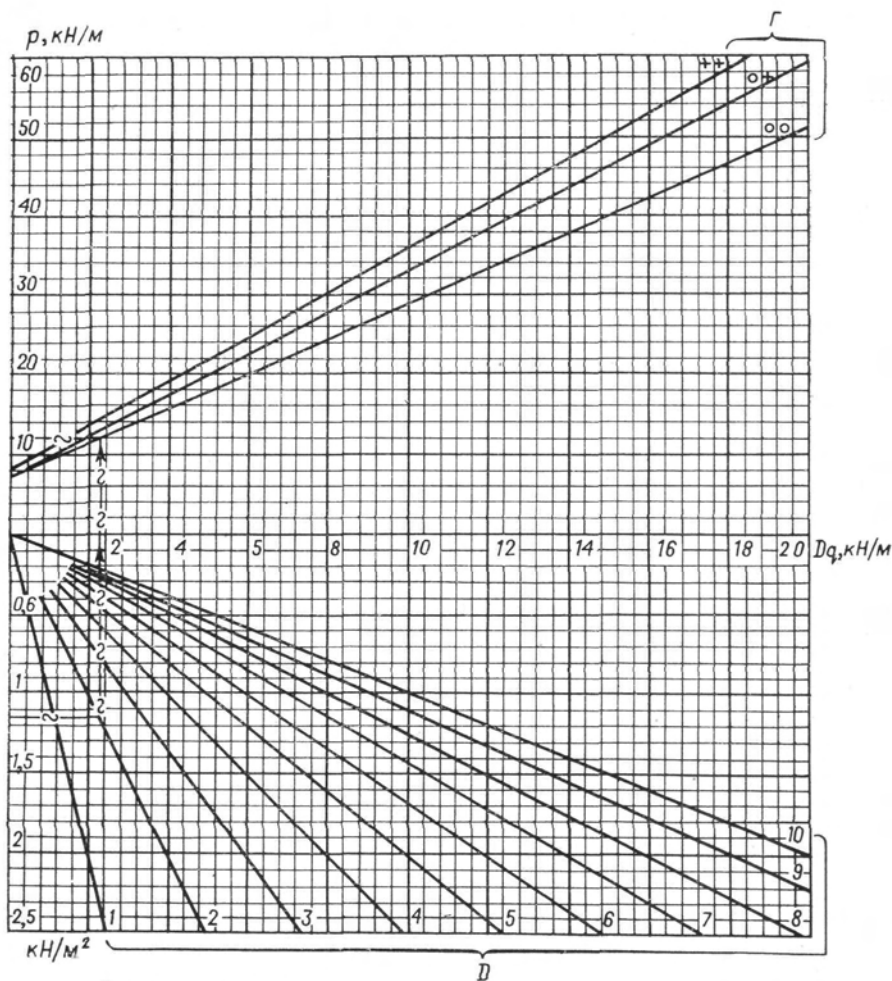
— ~ — ~ — Пример и последовательность

Рис. 47. Номограмма для определения веса конструкций несущей четырехгран- ветрового района

$H/2$ — отметка, равная половине высоты газоотводящего ствола, м; q — нормативный G — тип сечения соответственно поясов и решетки башни; H — высота сооружения, м; местности типа А; — — — то же, типа Б

H_d — расстояние от основания башни до рассматриваемой диафрагмы, м;
 h — расстояние между диафрагмами, м.

Нормативная вертикальная нагрузка от веса газоотводящего ствола вычисляется непосредственно по его диаметру D , толщине стенки δ и в зависимости от материала ствола по его объемной массе γ . Вес опорных колец, ребер жесткости, стыков,



пользования номограммой

ной башни в зависимости от высоты и диаметра газоотводящего ствола и скорости напора ветра в I—VII районах СССР; D — диаметр газоотводящего ствола, м; P — вес конструкций несущей башни, кН; p — показатель веса по высоте, кН/м; — для

компенсаторов и других конструктивных элементов газоотводящего ствола учитывается умножением полученного значения на коэффициент 1,1—1,15.

Отметки приложения нагрузки от веса газоотводящего ствола на башне соответствуют схеме стирания ствола, установленной ранее при выборе конструктивной схемы сооружения.

§ 3. Ветровые нагрузки

Общие предпосылки для определения ветровой нагрузки. Наибольшую долю усилий в конструкциях вытяжных башен вызывает ветровая нагрузка. Ветровая нагрузка на сооружение является следствием давления движущихся воздушных масс на него, как на преграду.

Интенсивность воздушного давления, или так называемый скоростной напор ветра q , определяется по формуле:

$$q = \rho v^2 / 2, \quad (6)$$

где q — скоростной напор ветра, даН/м²;
 ρ — плотность воздуха, даН·с²/м⁴;
 V — скорость ветра, м/с.

В условиях стандартной атмосферы, характеризующейся температурой воздуха $t = 15^\circ \text{C}$ и барометрическим давлением $p = 760$ мм рт. ст. [47], плотность воздуха $\rho = \rho_0 = 0,125$ (даН·с²/м⁴). Учитывая это значение плотности воздуха, формулу (6) преобразуем к виду:

$$q = v^2 / 16. \quad (7)$$

При иных параметрах воздуха (t° и p) его плотность определяется через ρ_0 по формуле

$$\rho = \rho_0 p (273 + 15) / [760 (273 + t^\circ)]. \quad (8)$$

Поправки на фактическое барометрическое давление и температуру в нормальных климатических условиях столь незначительны, что в практических расчетах с достаточной степенью точности можно ограничиться формулой (7). Однако в условиях северной строительно-климатической зоны при низких температурах воздуха плотность его увеличивается, соответственно возрастает величина скоростного напора ветра, которую в данном случае следует определять по формуле (6), используя формулу (8).

Нормативный скоростной напор ветра q_0 определяется по формуле (7) по скорости ветра V , замеренной на высоте 10 м над поверхностью земли по наибольшему значению ее в течение 5 лет. Главой СНиП II-6—74 установлен нормативный скоростной напор ветра q_0 для высоты над поверхностью земли 10 м в зависимости от географического района (табл. 11), а также коэффициент k , учитывающий изменение скоростного напора в зависимости от высоты и типа местности (табл. 12).

Таблица 11

Зависимость нормативного скоростного напора ветра q_0
от климатического района для высоты над поверхностью
земли до 10 м

Районы СССР (принимаются по карте З СНиП II-6—74)	I	II	III	IV	V	VI	VII
Нормативный скоростной напор ветра, даН/м ²	27	35	45	55	70	85	100

Таблица 12

Коэффициенты k , учитывающие изменение скоростного напора ветра

Тип местности	Высота над поверхностью земли, м						
	10	20	40	60	100	200	350 и выше
А	1	1,25	1,55	1,75	2,1	2,6	3,1
Б	0,65	0,9	1,2	1,45	1,8	2,45	3,1

Примечание. К типу А относятся открытые местности (степи, лесостепи, открытые побережья морей, озер, водохранилищ). К типу Б относятся города с окраинами, лесные массивы и тому подобные местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м.

При определении ветровой нагрузки для вытяжных башен имеют значение результаты наблюдений местных метеостанций для заданного района строительства. Если скорости ветра, зафиксированные ими, вызывают скоростные напоры, превосходящие укрупненные по районам данные СНиП (табл. 11), то для рассматриваемого сооружения в качестве нормативного скоростного напора рекомендуется принимать эти конкретные местные условия. Для большого количества пунктов СССР они приведены в СНиП II-А.6—72 (табл. 6, гр. 21).

В общем случае скоростной напор ветра не является стабильным статическим воздействием, его пульсации обуславливают динамичность воздействия на сооружение. Таким образом, ветровая нагрузка по своей природе является динамической.

Ветровая нагрузка на сооружение или его часть зависит от типа сооружения и его формы в целом, от формы отдельных элементов и их взаимного сочетания. Тип сооружения (высокое, обычное, легкое, массивное) определяет степень его деформативности под воздействием скоростного напора и, соответственно, степень необходимости учета динамического воздействия ветра. Форма сооружения в целом и отдельных его элементов, а также взаимное сочетание элементов сооружения

в пространстве, открытом доступу воздушных потоков, влияют на режим обтекания сооружения этими потоками и являются фактором, не только определяющим величину ветровой нагрузки, но также позволяющим ее регулировать.

Для вытяжных башен ветровая нагрузка является доминирующей, поэтому выбор формы сооружения и отдельных его элементов играет особенно существенную роль, а сам сбор ветровой нагрузки требует особой тщательности при его выполнении.

Методика СНиП определения ветровой нагрузки на высокие сооружения. Расчетная ветровая нагрузка для высоких сооружений консольного типа с периодом собственных колебаний более 0,25 с определяется с учетом динамического воздействия пульсаций скоростного напора, вызываемых порывами ветра.

Динамическая добавка ветровой нагрузки к статическому действию скоростного напора является следствием инерционных сил, возникающих при горизонтальных колебаниях сооружения, и зависит от интенсивности и спектрального состава пульсации скоростного напора и от периодов и форм собственных колебаний сооружения.

При определении ветровой нагрузки на высокие сооружения консольного типа допускается учитывать только колебания по основному тону, т. е. первую форму собственных колебаний. Необходимость учета высших форм колебаний для таких сооружений устанавливается в каждом случае в зависимости от принятой расчетной схемы и от распределения масс и жесткостей по высоте сооружения.

При определении расчетной ветровой нагрузки сооружение условно разбивают по высоте на z участков с текущим номером $j = 1, 2, \dots, k, \dots, z$, масса участка сооружения и действующая на него ветровая нагрузка сосредотачиваются в середине участка.

В соответствии со схемой сооружения уровень приложения ветровой нагрузки совмещается с плоскостью соответствующей диафрагмыбашни.

Расчетная ветровая нагрузка в Я, действующая на k -й участок сооружения, определяется по формуле:

1) при учете только колебаний по основному тону

$$Q_k = (q_k^n S_k + M_k \xi_1 \eta_{1k} v_1) n; \quad (9)$$

$$\eta_{1k} = \alpha_1(x_k) \sum_{j=1}^r \alpha_1(x_j) q_j^n S_j m_j; \\ : \sum_{j=1}^r \alpha_1^2(x_j) M_j; \quad (10)$$

2) при учете с форм собственных колебаний сооружения:

$$Q_k = \left[q_k^n S_k + M_k \sqrt{\sum_{i=1}^s \xi_i^2 (\eta_{ik} v_i^2)} \right] n; \quad (11)$$

$$\eta_{ik} = \alpha_i(x_k) \sum_{j=1}^r \alpha_i(x_j) q_j^n S_j m_j : \sum_{j=1}^r \alpha_i^2(x_j) M_j, \quad (12)$$

- η_{ik} — приведенное ускорение середины j -го участка, м/с²;
 $q_j^n = q_0 k_j c_j$ — нормативное давление ветра для участка j ($j=1, 2, \dots, k, \dots, r$), даН/м²;
 q_0 — нормативный скоростной напор ветра для высоты над поверхностью земли до 10 м, принимаемый по табл. 11, даН/м²;
 k_j — коэффициент, учитывающий изменение скоростного напора для данного участка, принимаемый по табл. 12;

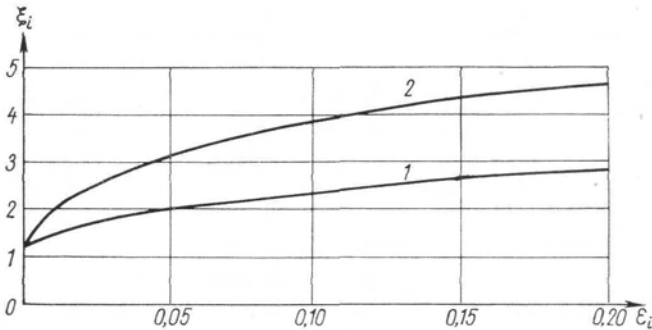
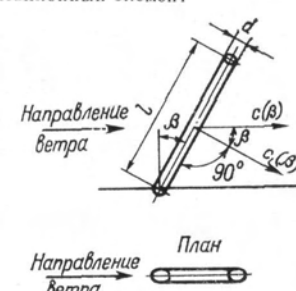
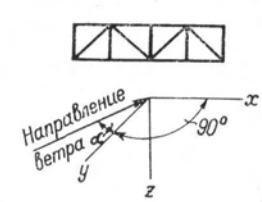
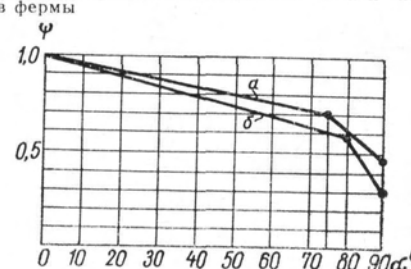


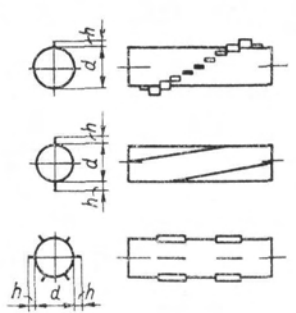
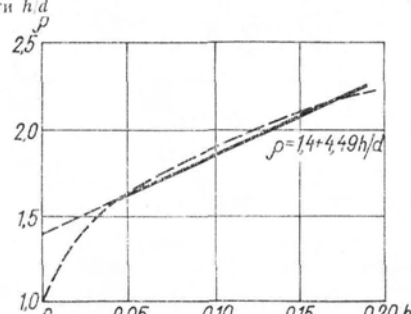
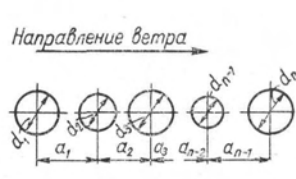
Рис. 48. График для определения коэффициента динамичности для стальных конструкций

1 — для башен, мачт, футерованных дымовых труб, аппаратов колонного типа ($\delta=0,15$); 2 — для сооружений и конструкций при совместном учете резонансных колебаний и для динамической составляющей ветровой нагрузки в плоскости потока ($\delta=0,05$)

- c_j — аэродинамический коэффициент для участка j , принимаемый, в частности, по табл. 8 главы СНиП II-6—74 или табл. 13;
 n — коэффициент перегрузки, принимаемый равным 1,3;
 S_j — площадь проекции участка j на плоскость, перпендикулярную направлению ветра;
 M_j — масса j -го участка сооружения в кг, определяемая без учета коэффициента перегрузки;
 ξ_i — коэффициент динамичности, зависящий от параметра $\varepsilon_i = T_i v / 1200$ и от логарифмического декремента колебания δ (определяется по графику на рис. 48);
 T_j — период i -й формы собственных колебаний сооружения ($i=1, 2, \dots, s$); $v = 4\sqrt{pq_0}$ — расчетная скорость м/с;
 v — коэффициент, учитывающий пространственную корреляцию пульсации скорости ветра по высоте и фронту сооружения; определяется по табл. 14; коэффициент учитывается только для первой формы собственных колебаний. При учете высших форм колебаний $v=1$;
 $\alpha_i(x_k)$ и $\alpha_i(x_j)$ — относительные ординаты i -й формы собственных колебаний сооружения в рассматриваемой точке k и во всех точках j , где сосредоточены массы M_j ;
 m_j — коэффициент пульсации скоростного напора ветра в точке j , определяемой по табл. 15.

№ п/п	Поверхности сооружений и схемы сечений отдельных сооружений и элементов	Аэродинамический коэффициент	Примечания
1	<p>Наклонный элемент</p> 	$c_1(\beta) = c \cos \beta;$ $c_2(\beta) = c \cos^2 \beta;$ <p>где c — аэродинамический коэффициент при $\beta = 0^\circ$ определяется по пп. 13—15 табл. 8, СНиП II-6—74; β — угол скольжения</p>	<p>Наветренная площадь определяется, как теневая площадь элемента, и равна $ld \cos \beta$. Для цилиндрических элементов трубчатого и круглого сечений формула, определяющая число Рейнольдса (для определения c) принимается в виде: $Re = 4\sqrt{pq_0} d \cos \beta / \nu$, где $\nu = 0,145 \times 10^4 \text{ м}^2/\text{с}$</p>
2	<p>Вертикальная плоская ферма при направлении ветра под углом атаки α</p> 	$c_\Phi(\alpha) = \psi c_\Phi$, где c_Φ — аэродинамический коэффициент плоской фермы при $\alpha = 0^\circ$, определяется по п. 16, табл. 8 СНиП II-6—74 и с учетом указаний § 3 гл. III; ψ — коэффициент, определяемый по графикам в зависимости от α и типа сечений элементов фермы  <p>α — ферма из круглых и трубчатых элементов; β — ферма из уголков</p>	

Продолжение табл. 13

№ п/п	Поверхности сооружений и схемы сечений отдельных сооружений и элементов	Аэродинамический коэффициент	Примечания																								
3	<p>Цилиндры с накладками и ребрами</p> 	$c_p = \rho c,$ <p>где c — аэродинамический коэффициент гладких цилиндров, определяется по п. 14, табл. 8 СНиП II-6—74; ρ — коэффициент, определяемый по графику в зависимости от степени шероховатости h/d</p> 																									
4	<p>Направление ветра</p> 	<p>Аэродинамический коэффициент для первого цилиндра определяется по п. 14 табл. 8 СНиП II-6—74, для второго и последующих — по формуле $c_0 = \eta_1 c$, где c — аэродинамический коэффициент для первого цилиндра; η_1 — коэффициент, определяемый по следующей таблице:</p> <table border="1" data-bbox="584 1926 1055 2105"> <thead> <tr> <th rowspan="2">d_{n-1}/d_n</th> <th colspan="4">a_{n-1}/d_{n-1}</th> </tr> <tr> <th>1,2</th> <th>2</th> <th>4</th> <th>6 и более</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,5 и менее</td> <td>—</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0,75</td> <td>—</td> <td>0,8</td> <td>0,95</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1,0 и более</td> <td>0,5</td> <td>0,7</td> <td>0,9</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	d_{n-1}/d_n	a_{n-1}/d_{n-1}				1,2	2	4	6 и более	0,5 и менее	—	1	1	1	0,75	—	0,8	0,95	1	1,0 и более	0,5	0,7	0,9	1	<p>1. Для случая, когда $d_{n-1} < d_n < d_{n-2}$, η_1 для n-го цилиндра принимается как меньшее значение из двух определенных в зависимости от a_{n-1}/d_{n-1} и $(a_{n-2} + a_{n-1})/d_{n-2}$</p> <p>2. Для промежуточных значений d_{n-1}/d_n и a_{n-1}/d_{n-1} η_1 определяется линейной интерполяцией</p>
d_{n-1}/d_n	a_{n-1}/d_{n-1}																										
	1,2	2	4	6 и более																							
0,5 и менее	—	1	1	1																							
0,75	—	0,8	0,95	1																							
1,0 и более	0,5	0,7	0,9	1																							

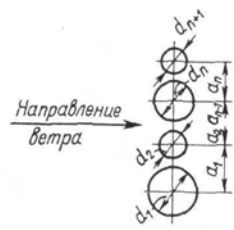
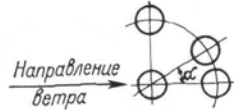
№ п.п.	Поверхности сооружений и схемы сечений отдельных сооружений и элементов	Аэродинамический коэффициент	Примечания								
5	 <p>Направление ветра</p>	<p>Аэродинамический коэффициент для каждого из цилиндров определяется по формуле $c_0 = \eta_2 c$, где c — по п. 14, табл. 8 СНиП II-6-74</p> <p>η_2 определяется по следующей таблице:</p> <table border="1" data-bbox="611 487 1082 644"> <tr> <td>$a/d_{\text{ср}}$</td> <td>1,2</td> <td>2</td> <td>4 и более</td> </tr> <tr> <td>η_2</td> <td>1,2</td> <td>1,1</td> <td>1</td> </tr> </table> <p>где $d_{\text{ср}}$ — средний диаметр двух соседних цилиндров</p>	$a/d_{\text{ср}}$	1,2	2	4 и более	η_2	1,2	1,1	1	<p>Для случая, когда $a_{n-1}d_{\text{ср}} + a_n d_{\text{ср}}$, η_2 для n-го цилиндра принимается как большее значение из двух, определенных в зависимости от $a_{n-1}d_{\text{ср}}$ и $a_n d_{\text{ср}}$</p>
$a/d_{\text{ср}}$	1,2	2	4 и более								
η_2	1,2	1,1	1								
6	 <p>Направление ветра</p>	<p>Для $0 < \alpha < 30^\circ$ аэродинамические коэффициенты c_0 определяются по п. 4; для $75^\circ < \alpha < 90^\circ$ аэродинамические коэффициенты c_0 определяются по п. 5; для $30^\circ < \alpha < 75^\circ$ c_0 определяются как для одиночных цилиндров по п. 14 табл. 8, СНиП II-6-74</p>									

Таблица 14

Коэффициент ν , учитывающий пространственную корреляцию пульсации скорости ветра по высоте и фронту сооружения

ϵ_1	Высота сооружения, м					
	До 45	60	120	150	300	450 и выше
0,05	0,7	0,65	0,6	0,55	0,45	—
0,10	—	0,75	0,65	0,6	0,5	0,4
0,20	—	—	0,75	0,7	0,6	0,5

Таблица 15

Коэффициенты пульсации скоростного напора ветра m

Тип местности	Высота над поверхностью земли, м						
	До 10	20	40	60	100	200	350 и выше
А	0,6	0,55	0,48	0,46	0,42	0,38	0,35
Б	0,88	0,75	0,65	0,6	0,54	0,46	0,4

Примечание. Пояснения к типу местности см. в прим. к табл. 12.

Первый член правой части формул (9) и (11) учитывает статическое действие нормативного скоростного напора, второй — его динамическое воздействие, обусловленное порывами ветра. В структуру второго члена также входит величина нормативного скоростного напора для всех участков сооружения ($q_n^H S_j$ в составе коэффициента η). При конкретизации этой методики применительно к вытяжным башням с учетом специфики их конструктивной схемы формулы (9) и (11) принимаются обобщенно в виде:

$$Q = (Q_{ст} + Q_{дин}) n, \quad (13)$$

где $Q_{ст}$ — статическое действие нормативного скоростного напора;
 $Q_{дин}$ — динамическое воздействие нормативного скоростного напора.

Индекс k , означающий принадлежность всех входящих в формулы (9) — (13) параметров к k -му участку, опускается, но во всех случаях предполагается, что рассматривается определенный участок сооружения и все величины относятся к нему.

Ниже приводятся сведения, не включенные в СНиП II-6—74 [89], без которых затруднительно применить эту методику для определения ветровой нагрузки на вытяжные башни. Эти дополнения, в частности, касаются определения зонального действия ветра, особенностей определения $Q_{ст}$. Как дополнение дается методика определения относительных ординат первой формы собственных колебаний сооружения $a_1(x_j)$ и периода этих колебаний T_1 , необходимых для вычисления коэффициентов

η_1 и ξ_1 , а также некоторые указания для определения спектра частот и форм собственных колебаний высших порядков.

Вопросы резонанса и галопирования не рассматриваются, так как опыт эксплуатации конструкций показывает, что для вытяжных башен в целом эти явления не характерны.

Учет зонального действия ветра. Распределение ветрового потока по высоте носит случайный характер. В отдельных уровнях и слоях (зонах) фактическая скорость ветра может быть меньше той, которая принята при нормировании максимальных скоростных напоров. Для некоторых элементов высокого сооружения такое воздействие ветра может оказаться более опасным, чем полная ветровая нагрузка. В частности, это характерно для раскосов и распорок в призматических частях башен и учитывается специальным расчетом на «зональное действие ветра» [100].

Для каждого отдельного элемента сооружения наиболее неблагоприятное нагружение ветровой нагрузкой может быть получено с помощью линии влияния. В Указаниях по проектированию [100] методика определения эпюры зонального действия конкретизирована для случая, когда усилия в элементах решетки определяют по методу сечений (рис. 49, а, б). При этом эпюра ветровой нагрузки выше сечения, в котором находится рассматриваемый элемент (раскос, распорка), представляется в виде двух участков (зон). На одном из участков нагрузка сохраняет свое максимальное значение, на другом — может быть принята уменьшенной (рис. 49, г, д). Уровень раздела эпюры на зоны определяется положением точки схода поясов, являющейся в методе сечений центром для составления уравнения моментов. Действительно, учитываемое такой схемой снижение ветровой нагрузки в одной из зон приводит к большему значению суммарного момента (а следовательно, и искомого усилия), тогда как при максимальном значении воздействия ветра с обеих сторон уровня раздела эпюры на зоны (рис. 49, б) моменты могут быть близки по величине, а иногда и взаимно уравновешены, что существенно занижает величину искомого усилия.

При определении усилий по схеме зонального действия ветра необходимо рассматривать обе возможные схемы спада ветровой нагрузки (рис. 49, г, д).

Уменьшенное значение ветровой нагрузки определяется по формуле:

$$Q_{\text{зон}} = \chi Q, \quad (14)$$

где Q — расчетная ветровая нагрузка,

χ — коэффициент спада ветровой нагрузки.

Коэффициент спада определяется по графику на рис. 49, е в зависимости от длины отрезка z , являющегося плечом искомого усилия в уравнении моментов.

Особенности определения статического действия скоростного напора $Q_{\text{ст}}$. Статическое действие скоростного напора или ста-

шическая составляющая ветровой нагрузки на сооружение зависит от режима обтекания сооружения воздушным потоком и от величины скоростного напора в данном районе и на определенной высоте. Характеристикой обтекания элемента или сооружения является аэродинамический коэффициент s или s_{χ}^* , который отражает особенности конфигурации и качества поверхности сооружения или его части. Интенсивность нормативного

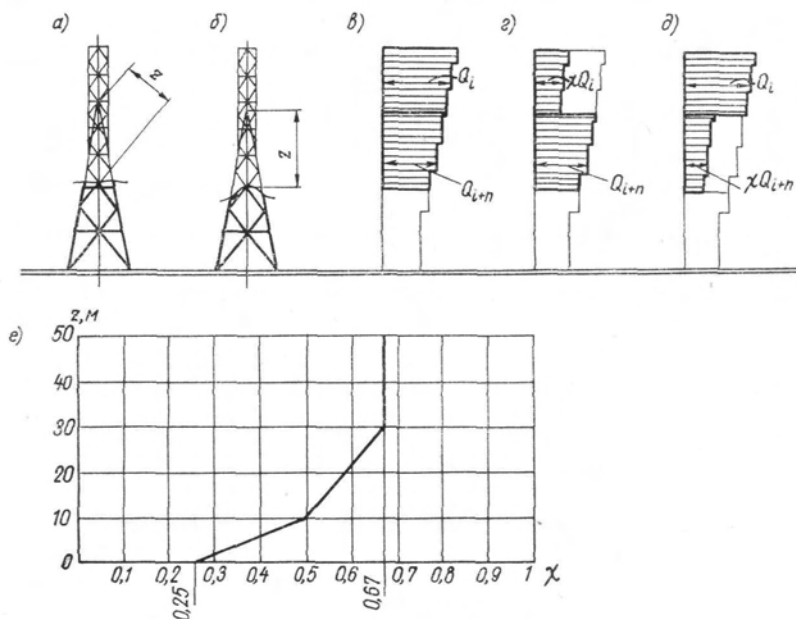


Рис. 49. Зональное действие ветра

a — расчетная схема для определения усилия в раскосе; *б* — то же, для определения усилия в распорке; *в* — схема максимальной ветровой нагрузки; *г*, *д* — схемы спада ветровой нагрузки при зональном действии ветра; *е* — график для определения коэффициента спада ветровой нагрузки χ

статического действия скоростного напора, или интенсивность нормативной статической ветровой нагрузки q^H (даН/м²) принимается нормальной к поверхности сооружения или отдельных его элементов и определяется по формуле:

$$q^H = q_0 c, \quad (15)$$

где q_0 — нормативный скоростной напор с учетом изменения скоростного напора ветра по высоте, принимаемый по табл. 11 и 12.

c — аэродинамический коэффициент.

* В общем случае пространственной задачи обтекание элемента характеризуется аэродинамическими коэффициентами c_x , c_y , c_z , отвечающими сопротивлению элемента в направлении ox , параллельном потоку, и в направлениях oy и oz , перпендикулярных потоку, а также коэффициентами c_{mz} , c_{my} , c_{mx} , определяющими сопротивление элемента повороту в потоке вокруг соответствующей оси.

Статическая составляющая ветровой нагрузки соответственно определяется формулой

$$Q_{ст} = q_0 c S. \quad (16)$$

Основную трудность при вычислении $Q_{ст}$ представляет определение аэродинамического коэффициента. В результате многочисленных аэродинамических исследований получены значения аэродинамического коэффициента для отдельных элементов, наиболее распространенных их сочетаний и для целого ряда стандартных конфигураций сооружений. Часть из них приведена в табл. 8 главы СНиП II-6—74 [89], а также в других нормативных документах [68, 69, 101] и литературных источниках [5, 22, 47, 51, 53 и др.]. Для каждого нового по конфигурации сооружения или нового пространственного сочетания элементов значения аэродинамического коэффициента необходимо определять путем испытаний жестких отсеченных моделей в аэродинамических трубах. Эти испытания технически сложны и трудоемки.

Значения аэродинамических коэффициентов для ряда схем сооружений и отдельных его элементов в дополнение к табл. 8 главы СНиП II-6—74 приведены в табл. 13. Они могут быть использованы при определении ветровой нагрузки на вытяжные башни.

Сложность определения статического действия скоростного напора на конструкции вытяжных башен заключается в том, что в нормативных документах нет конкретных рекомендаций по определению аэродинамического коэффициента для пространственного сочетания элементов, характерных для схем вытяжных башен. Объем выполненных аэродинамических исследований для данного вида сооружения пока недостаточен и позволяет произвести только некоторую качественную оценку применяемой методики [24].

В частности, как показало сравнение с результатами эксперимента, впредь до более детальной разработки и уточнения методики, статическое действие скоростного напора $Q_{ст}$ на конструкции вытяжной башни с достаточной для практики степенью точности может определяться как сумма статического действия ветровой нагрузки на башню $Q_{ст}^b$ и газоотводящий ствол $Q_{ст}^r$:

$$Q_{ст} = Q_{ст}^b + Q_{ст}^r. \quad (17)$$

Используя формулу (16), выражение (17) можно представить в виде:

$$Q_{ст} = q_0 (c_b S_b + c_r S_r), \quad (18)$$

после чего значения входящих в выражение (18) аэродинамических коэффициентов башни c_b и газоотводящего ствола c_r и соответствующих им площадей проекций участков на плоскость, перпендикулярную направлению ветра (S_b и S_r), могут определяться с помощью следующих указаний.

Аэродинамический коэффициент башни c_6 при поэлементном подсчете статической составляющей нормативного скоростного напора для трех- и четырехгранных башен определяется в стро-гом соответствии с указаниями п. 18 табл. 8 главы СНиП II-6—74 [89]:

$$c_6 = c_{np} = c_\phi (1 + \eta), \quad (19)$$

здесь η — коэффициент, учитывающий нагрузку на подветренную грань, являющуюся функцией

$$\eta = \sum_i f_i / S; \quad (20)$$

c_ϕ — коэффициент заполнения грани башни;
 f_i — площадь проекции i -го элемента грани на плоскость, перпендикулярную направлению ветра;

S — габарит грани башни в проекции на вертикальную плоскость.

Некоторые особенности, связанные с определением c_6 , не оговоренные в [89], заключаются в следующем:

1. Учет площади узловых фасонки в сумме площадей проекций элементов наветренной грани $\sum f_i$ осуществляется введением множителя k_ϕ . Таким образом, при определении c используется значение η в виде:

$$\eta = k_\phi \sum_i f_i / S. \quad (21)$$

Соответственно

$$c_6 = k_\phi \sum_i f_i. \quad (22)$$

Величина k_ϕ принимается дифференцированно, в зависимости от типа сечений элементов башни и от плотности решетки:

для башен из элементов трубчатого поперечного сечения	
при решетке разреженной	1,05—1,1
то же, обычной	1,1—1,15
для башен из элементов крестового поперечного сечения	
при решетке разреженной	1,1—1,15
то же, обычной	1,15—1,2
при бесфасоночном сопряжении трубчатых элементов	1,0

2. Входящий в формулу (19) аэродинамический коэффициент c_ϕ наветренной грани башни из элементов трубчатого поперечного сечения при различных аэродинамических коэффициентах отдельных элементов c_i и с учетом фасонки вычисляется по формуле:

$$c_\phi = \left[\sum_i f_i c_i + 1,4 (k_\phi - 1) \sum_i f_i \right] / S, \quad (23)$$

где 1,4 — аэродинамический коэффициент листа фасонки.

Аэродинамические коэффициенты отдельных элементов c_i согласно п. 14 табл. 8 [89] определяются в зависимости от числа Рейнольдса по формуле $Re = vd/\nu$, в которой $v = 4 \sqrt{q_0 n}$, где $q_0 n$ — расчетный скоростной напор с учетом коэффициента k (см. табл. 12). Значения c_i можно определить, зная q_0 и d

Т а б л и ц а 16
Формулы для определения аэродинамических коэффициентов с элементов с цилиндрической поверхностью
трубчатого и круглого сечений

Границы $Re \cdot 10^5$	c (через Re)	Границы $d \sqrt{V q_0}$	Границы $q_0 d^2$	c (через $d \sqrt{V q_0}$)	Границы vd	c (через vd)
$(Re \cdot 10^5) < 1,5$	1,2	$d \sqrt{V q_0} < 0,477$	$q_0 d^2 < 0,2274$	1,2	$vd < 2,175$	1,2
$1,5 < (Re \cdot 10^5) < 4$	$1,65 - 0,3 (Re \cdot 10^5)$	$0,477 < d \sqrt{V q_0} < 1,27$	$0,2274 < q_0 d^2 < 1,617$	$1,65 - 0,944 d \sqrt{V q_0}$	$2,175 < vd < 5,8$	$1,65 - 0,207 vd$
$4 < (Re \cdot 10^5) < 8$	0,45	$1,27 < d \sqrt{V q_0} < 2,54$	$1,617 < q_0 d^2 < 6,46$	0,45	$5,8 < vd < 11,6$	0,45
$8 < (Re \cdot 10^5) < 15$	$0,2786 + 0,2143 (Re \cdot 10^5)$	$2,54 < d \sqrt{V q_0} < 4,77$	$6,46 < q_0 d^2 < 22,743$	$0,2786 + 0,0674 \times$ $\times d \sqrt{V q_0}$	$11,6 < vd < 21,75$	$0,2786 + 0,0148 vd$
$15 < (Re \cdot 10^5) < 35$	$0,525 + 0,005 (Re \cdot 10^5)$	$4,77 < d \sqrt{V q_0} < 11,13$	$22,743 < q_0 d^2 < 123,8$	$0,525 + 0,0157 \times$ $\times d \sqrt{V q_0}$	$21,75 < vd < 50,75$	$0,525 + 0,035 vd$
$(Re \cdot 10^5) > 35$	0,7	$d \sqrt{V q_0} > 11,13$	$q_0 d^2 > 123,8$	0,7	$vd > 50,75$	0,7

(минус вычисления Re), по формулам, приведенным в табл. 16. Учитывая, что справочные данные по аэродинамическим коэффициентам с различных стержневых систем и отдельных стержней приводятся в ряде источников как функция параметров $q_0 d^2$ [69] или vd [68], в табл. 16 приведены формулы для определения c и через указанные параметры. Кроме того, нормативное значение линейной ветровой нагрузки $Q_{ст}$ на элементы круглого сечения можно найти по графикам (рис. 50).

Графики составлены на основании зависимости $c = f(Re)$ по п. 14, табл. 8 СНиП II-6—74. Они позволяют при известных наружном диаметре элемента d и нормативном скоростном напоре q_0 определять величину нормативной статической составляющей ветровой нагрузки на 1 м длины элемента, минуя промежуточные вычисления V , Re и c . Кроме того, графики наглядно иллюстрируют особенность обтекания цилиндрических стержней круглого сечения, заключающуюся в том, что в определенном диапазоне диаметров стержней линейная нагрузка имеет локальные максимум и минимум. Учет этой особенности при назначении диаметра элемента позволяет снизить ветровую нагрузку на элемент в среднем на 20%. Выбор оптимального диаметра при определенном скоростном напоре ветра осуществляется непосредственно по графикам. Пользование графиками поясним на примерах (рис. 50).

Пример 1. Определение нагрузки на элемент. Требуется определить статическую составляющую нормативной ветро-

вой нагрузки на элемент диаметром $d=146$ мм на высоте $H=100$ м в сооружении, проектирующемся в IV ветровом районе СССР (тип местности А).

По табл. 11 и 12 находим соответствующее значение нормативного скоростного напора $q_0=115,5$ даН/м². По оси абсцисс (d) на рис. 50, а отмечаем положение $d=146$ мм и проводим вертикаль до точки, соответствующей $q_0=115,5$ даН/м², которая находится линейной интерполяцией между кривыми $q_0=100$ даН/м² и $q_0=120$ даН/м². По оси ординат получим нормативную ветровую нагрузку на 1 м длины элемента: $Q=76$ Н/м.

Аналогично определяем Q для элемента диаметром $d=630$ мм на высоте $H=48$ м в VII ветровом районе СССР, в местности типа Б. Находим величину коэффициента изменения скоростного напора $k=1,3$; соответственно скоростной напор $q_0=130$ даН/м². По графику на рис. 50, б определяем $Q=0,52$ кН/м.

Пример 2. Выбор оптимального диаметра элемента. Сооружение проектируется для V ветрового района СССР (тип местности А) — $q_0=70$ даН/м² на высоте $H=137$ м ($k=2,28$) в зоне со скоростным напором ветра $q_0=160$ даН/м². По гибкости и предполагаемому усилению этот трубчатый стержень может иметь диаметр $d=78$ мм, однако Q в этом случае составляет 91 Н/м (кривая $q_0=160$ даН/м² графика по рис. 50, а). По кривой $q_0=160$ даН/м² находим $\min Q=73$ Н/м, что соответствует $d=100$ мм. Следует принять $d=100$ мм (или ближайший по сортаменту). В данном случае целесообразно увеличить диаметр стержня и допустить перерасход металла в верхней части башни, так как полученное за счет этого уменьшение местной нагрузки в верхней части сооружения дает значительное уменьшение усилий в его нижней части, что, в свою очередь, приводит к снижению веса конструкции в целом.

3. Аэродинамический коэффициент $C\phi$ для башни из элементов крестового поперечного сечения (при однозначном аэродинамическом коэффициенте 1,4) с учетом фасонки определяется следующим выражением:

$$C_{\phi} = 1,4k_{\phi} \sum_i f_i/S. \quad (24)$$

Для ориентировочного подсчета ветровой нагрузки на стадии вариантного проектирования или при назначении размеров основных элементов башни в формулах (19) и (21) могут быть использованы осредненные значения входящих в них величин:

	C_{ϕ}
для башни из элементов трубчатого поперечного сечения (распорки могут быть и из швеллеров)	0,6
для башни из элементов крестового поперечного сечения	1,4
	ϕ
для участков в верхней и нижней частях башни	0,20
для участков в средней части	0,25
для нижнего участка в основании башни	0,15

Для многогранных башен аэродинамический коэффициент башни C_b (до получения результатов детальных аэродинамических исследований) может определяться по методике, аналогичной разработанной для четырехгранных башен, однако при этом необходимо аэродинамические коэффициенты отдельных элементов наветренных граней c_i определять с учетом поправочных коэффициентов, зависящих от угла атаки α и угла скольжения ρ действующего скоростного напора, а соответственно с данными табл. 13; при определении коэффициента η ,

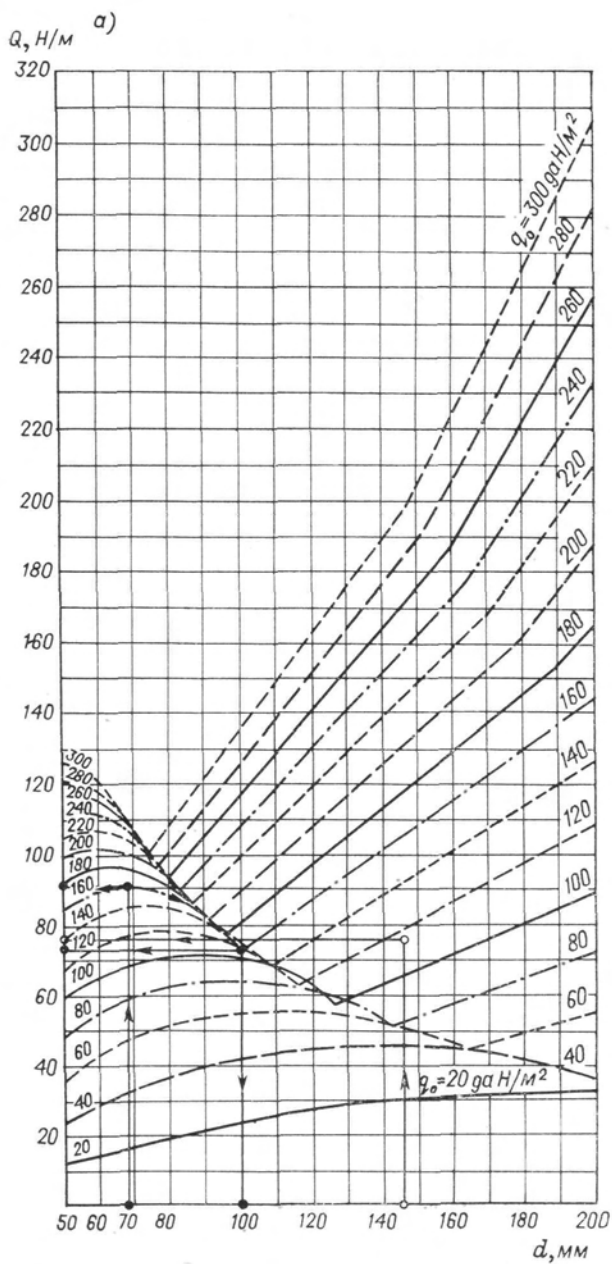
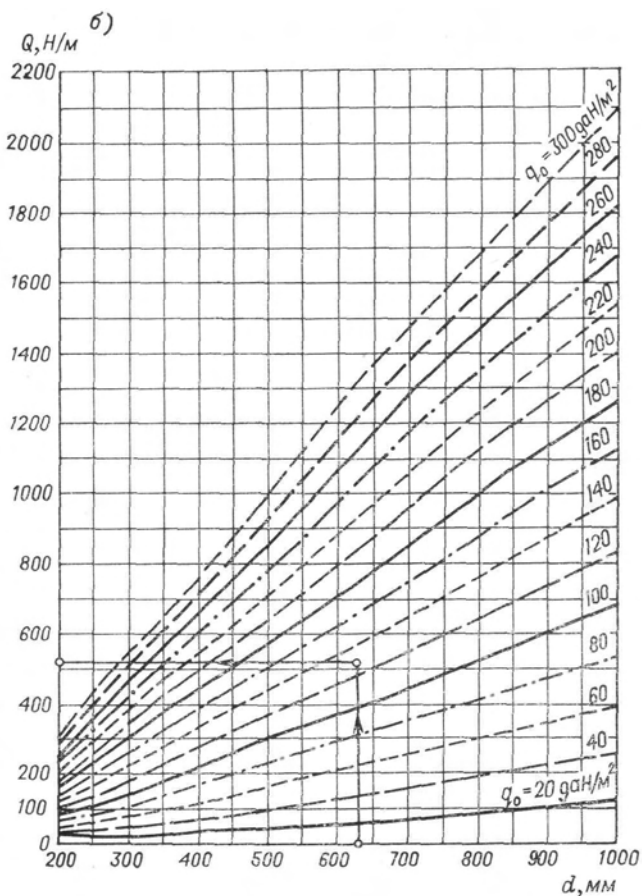


Рис. 50. Графики для определения нормативной погонной пазне изменения наружного диаметра
 а — $d=50-200$ мм; б — $d=200-1000$ мм

учитывающего нагрузку на подветренные грани по п. 17 табл. 8 СНиП II-6—74, размер h принимается средним

Аэродинамический коэффициент c_r газоотводящего ствола диаметром D определяется по п. 14 табл. 8 СНиП II-6—74 или по формулам табл. 16. При $Re = vD/\nu \geq 35 \cdot 10^5$ или $Dv\bar{q}_0 \geq 11,13$ $c_r = \text{const} = 0,7$ Наветренная площадь газоотводящего ствола S_r вычисляется как произведение его диаметра D на высоту рассматриваемого участка.

В башнях с несколькими газоотводящими стволами статическая составляющая ветровой нагрузки определяется в зависимости от их взаимного расположения по табл. 13. Нормативная узловая нагрузка на сооружение $Q_{ст}$, как правило, определяется для одного или двух направлений действия скоростного



ветровой нагрузки на элементы круглого сечения при диа-

упругая линия консольного стержня от действия поперечной единичной силы, приложенной на его свободном конце.

Период собственных колебаний в этом случае определяется по формуле:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\sum_{j=1}^r M_j y_{1j}^2 / y_{1r}}. \quad (29)$$

Как показала практика расчета вытяжных башен высотой от 100 до 200 м, определение динамической составляющей ветровой нагрузки при учете трех форм колебаний вызывает увеличение усилий от полной ветровой нагрузки в нижней части сооружения в пределах 3—7% независимо от высоты сооружения. Основное влияние здесь оказывает жесткость сооружения в целом и соотношения масс основных его составляющих.

В настоящее время, в случаях, когда затруднительно выполнить механизированные расчеты, вытяжные башни высотой до 200 м можно рассчитывать с учетом только первой формы колебаний, имея в виду, что расчетные комбинации усилий при этом могут оказаться заниженными на 2—5%.

В формулы динамической составляющей ветровой нагрузки (9), (11) входит коэффициент динамичности ξ_i , зависящей от периода T_i и от логарифмического декремента колебаний δ . В СНиП II-6—74 для стальных башен приведен график $\xi = f(\xi_i)$ при $\delta = 0,15$ (см. рис. 48, кривая 1). В ряде работ [47, 53, 94] для гибких стальных конструкций, колебания которых характеризуются декрементом $\delta = 0,1$, вводится повышенное значение ξ , превосходящее рекомендуемое СНиПом в 1,5 раза.

Поверочный расчет вытяжной башни с учетом ξ при $\delta = 0,15$ и $\delta = 0,1$ показал, что полная ветровая нагрузка в последнем случае возрастает на 5—6, а расчетные усилия от ветровой нагрузки на 6—8%.

Динамические испытания четырех вытяжных башен различных высот показали, что фактический декремент колебаний при малых амплитудах находится в пределах 0,1—0,02, а значение δ снижается по мере затухания собственных колебаний [27]. Многолетний опыт достаточно надежной работы вытяжных башен позволяет в этой части расчета ограничиться в настоящее время рекомендациями СНиП II-6—74 и принимать ξ по кривой 1 на рис. 48 ($\delta = 0,15$). Использование при расчете вытяжных башен кривой 2 (см. рис. 48), заимствованной из СНиП II-6—74, требует дополнительных обоснований.

§ 4. Снеговые нагрузки и температурные воздействия

Снеговые и пылевые нагрузки. Снеговая нагрузка при расчете площадок высоких пространственных решетчатых сквозных конструкций подлежит учету только при размере площадки бо-

лее 15 м² [100]. Однако площадки вытяжных башен оказываются частично защищенными от прямого воздействия ветра газоотводящим стволом, что вызывает скопление снега на них. Вследствие этого при расчете площадок диафрагм вытяжных башен снеговые нагрузки учитываются независимо от величины площади площадки и распространяются на покрытую настилом поверхность диафрагмы.

Нормативная снеговая нагрузка на 1 м² площади площадки p^H определяется по формуле:

$$p^H = p_0 c, \quad (30)$$

где p_0 — вес снегового покрова на 1 м² горизонтальной поверхности земли, принимаемый в зависимости от района СССР по табл. 17;

c — коэффициент перехода от веса снегового покрова на горизонтальной поверхности земли к нормативной снеговой нагрузке на соответствующей площадке.

Для горизонтальных площадок в общем случае коэффициент $c=1$. На покрытия с дымовыми и вентиляционными шахтами (трубами) в зоне, прилегающей к шахте (трубе), по СНиП II-6—74 предусматривается снеговая нагрузка, которая определяется с помощью коэффициента $c>1$.

По аналогии со СНиПом повышенный коэффициент c вводится для снеговой нагрузки на площадки-диафрагмы при размере диаметра газоотводящего ствола в пределах от 1,5 до 15 м. В зависимости от величины диаметра газоотводящего ствола коэффициент c принимает следующие значения: при $1,5 < D \leq 5$ м $c=1,6$; при $5 < D \leq 10$ м $c=2$; при $10 < D \leq 15$ м $c=2,5$.

Снеговая нагрузка с учетом повышенного коэффициента c распространяется на зону площадки вокруг ствола. Радиус этой зоны не превышает $2,5D$.

Таблица 17

Зависимость веса снегового покрова p_0 , приходящегося на 1 м² горизонтальной поверхности земли, от климатического района

Районы СССР (принимаются по карте I СНиП II-6—74)	I	II	III	IV	V	VI
Вес снегового покрова, даН/м ²	50	70	100	150	200	250

На площадках многоствольных вытяжных башен зона скопления снега определяется относительно каждого из газоотводящих стволов.

В целях унификации конструкций вытяжных башен ограничение места скопления снега по направлениям преобладающих зимних ветров во внимание не принимается.

Как правило, диаметр газоотводящего ствола D (или стволов) и габарит сооружения таковы, что повышенный коэффициент c распространяется на всю покрытую настилом поверхность диафрагмы. Исключение могут составить только площадки-переходы к поясам башни, значительно удаленные от газоотводящего ствола в нижней части сооружения, для которых $c = 1$.

Нагрузка от пылевых отложений на площадках вытяжных башен учитывается, если в задании не предусматриваются специальные мероприятия по их удалению. Величина этой нагрузки определяется технологическим заданием, а схема приложения аналогична снеговым нагрузкам.

Температурные воздействия. Температурные воздействия па вытяжные башни могут быть технологического характера и климатические. Последние возникают при сезонных и суточных изменениях температуры воздуха и при одностороннем нагреве солнечными лучами. Принятая конструктивная схема вытяжных башен обеспечивает независимость температурных перемещений газоотводящего ствола и несущей башни. Вследствие этого дополнительные усилия в элементах башни могут возникнуть только от климатических температурных воздействий в случае стеснения свободы деформаций (вызванного наличием дополнительных элементов в схеме башни, которые превращают ее конструкцию в статически неопределимую), а также в силу неравномерного нагрева с солнечной и затененной сторон. В большинстве случаев усилия эти незначительны, а учет их в соответствующих сочетаниях с понижающими коэффициентами не составляет опасной комбинации.

Газоотводящий ствол находится под одновременным влиянием технологических и климатических температурных воздействий, на которые необходимо производить расчет его оболочки, особенно в зонах установки ребер жесткости, являющихся фактором стеснения деформаций и концентрации напряжений.

За расчетную отрицательную температуру для вытяжных башен принимается температура наружного воздуха по наиболее холодной пятидневке согласно данным СНиП II-A.6—72 (табл. 1, гр. 18).

ГЛАВА IV

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА

Расчет вытяжных башен должен выполняться на основе требований СНиП II-A.10—71, СНиП II-6—74, СНиП II-B.3—72. Однако в связи с тем, что эти главы дают только общие положения, ниже приводятся основные этапы расчета вытяжных башен с учетом их специфики.

Кроме расчета на силовые воздействия для вытяжных башен проводятся специальные расчеты внутренней аэродинамики в газоотводящем стволе, теплотехнические и санитарно-гигиенические расчеты, определяющие размеры газоотводящих стволов (их высоту и внутренний диаметр). Эти расчеты выполняются при разработке технологии в соответствии с требованиями санитарно-гигиенических норм, например [83, 102]. При проектировании строительных конструкций эти вопросы не рассматриваются.

Расчет конструкций вытяжных башен на силовые воздействия производится по методу предельных состояний. Особенности действительной работы (и предельных состояний) элементов и соединений конструкций, имеющие систематический характер, но не отражаемые в расчетах прямым путем, учитываются коэффициентами условий работы m (табл. 18).

Таблица 18

Коэффициенты условий работы m

№ п/п	Наименование элементов конструкций	m
1	Расчетные элементы несущих башен	0,9
2	Оболочка газоотводящего ствола	1
3	Лестницы, площадки, перила	1
4	Фланцы кольцевого типа	1,1

Примечания: 1. Коэффициенты условий работы, установленные в пп. 1—3, не распространяются на крепления соответствующих элементов конструкций в узлах.

2. Приведенные в СНиП II-V.3—72 расчетные сопротивления соединительных элементов (сварных швов, болтов, заклепок), даны с учетом установленных для них коэффициентов условий работы.

§ 1. Расчет несущей башни

Для наиболее распространенной в настоящее время конструктивной формы вытяжных башен несущей конструкцией является четырехгранная симметричная башня, которая рассматривается как консольная пространственная ферма переменного сечения. Нагрузка сводится к вертикальным (от веса) и горизонтальным (от ветра) силам, сосредоточенным в узлах. Вертикальная нагрузка распределяется поровну между поясами. Решетка воспринимает местную вертикальную нагрузку.

При расчете на горизонтальную нагрузку рассматриваются две возможные схемы загрузки четырехгранной башни: 1) максимальной ветровой нагрузкой, действующей по диагонали башни,— для определения усилий в поясах и нагрузок на фундаменты; 2) максимальной ветровой нагрузкой перпендикулярно одной из граней для определения усилий в элементах

решетки. По первой схеме усилия в поясах, лежащих по диагонали, перпендикулярной действию ветра, равны нулю, а в направлении ветровой нагрузки возникают усилия, равные по величине и обратные по знаку.

Частным случаем второй схемы загрузки является схема зонального действия ветра. Поверочные расчеты ряда вытяжных башен показали, что усилия в раскосах и распорках ниже нижнего перелома поясов при зональном действии ветра могут увеличиваться вдвое по сравнению с усилиями от полной максимальной ветровой нагрузки. В целях сокращения трудоемкости расчета, если усилия в нижней части решетки от полной ветровой нагрузки не превышают ± 100 кН, расчет по схеме зонального действия ветра можно не производить и с достаточной степенью точности ограничиться только изменением величины усилий в ее элементах вдвое по сравнению с усилиями от действия полной ветровой нагрузки.

Если величина усилий от полной ветровой нагрузки в раскосах и распорках ниже нижнего перелома поясов башни превышает ± 100 кН, то необходим дополнительный расчет, определяющий усилия в этих элементах при зональном действии ветра. Кроме того, в элементах решетки возникают дополнительные усилия, являющиеся следствием совместности деформаций раскосов и поясов. Они особенно значительны в нижней призматической части башни.

Усилия в элементах башни определяют в предположении идеальности шарнирных сопряжений либо с учетом пространственной работы сооружения, либо путем разложения пространственной фермы на плоские с соответствующим распределением нагрузки по граням. При малых углах отклонения оси поясов от вертикали (до 20°) разложение нагрузки на грани можно осуществлять в предположении, что она действует в плоскости грани. С увеличением угла наклона поясов в нижней пирамидальной части башни следует учитывать фактическое пространственное положение элементов и направление приложения нагрузки. Усилия в распорках и раскосах определяются расчетом плоской фермы, усилия в поясах и опорные реакции — алгебраическим суммированием соответствующих усилий в смежных гранях.

Расчет башни, как пространственной схемы, требует обязательного привлечения электронно-вычислительной техники, плоскую расчетную схему можно рассчитывать также и графически или аналитически. При графическом методе расчета усилия в плоской ферме определяются построением диаграммы Максвелла-Кремоны, аналитически усилия могут быть получены с помощью одного из известных приемов строительной механики (метод вырезания узлов, метод сечений).

Аналогично можно рассчитать трех- и многогранные несущие башни при соответствующем разложении нагрузок на плоские грани [51, 53].

Усилия в элементах четырехгранной башни с ромбической решеткой и нагрузка на фундаменты

Вид нагрузки	Часть башни	Наименование элементов			Нагрузка на фундаменты		
		пояса	раскосы	распорки			
Вертикальная	Призматическая	$-N/4$	$P/2 \cos \alpha$	0	Вертикальная	$-N/4$	
	Пирамидальная	$-N/4 \cos \gamma$	$-P/2 \cos \alpha^*$	$-0.707 P \operatorname{tg} \gamma$			
	Места перелома поясов	от призматической к пирамидальной	—	—	$-0.177 N \operatorname{tg} \gamma$	Горизонтальная	$N \operatorname{tg} \gamma/4$
		между двумя пирамидальными	—	—	$0.707 [P \operatorname{tg} \gamma + P_1 (\cos \gamma_1 \times \operatorname{tg} \gamma - \sin \gamma_1)]$		
Горизонтальная	Призматическая	$\pm M_{\text{д}}/a\sqrt{2}$	$\pm Q_{\text{л}}/4 \sin \alpha$	$\pm Q_{\text{л}}^{\text{к}}/4$	Вертикальная	$\pm M_{\text{д}}/a\sqrt{2}$	
	Пирамидальная	$\pm M_{\text{д}}/a\sqrt{2} \times \cos \gamma$	$\pm (Q_{\text{л}}/4 - M_{\text{л}} \operatorname{tg} \beta/2a) \times 1/\sin \alpha$	$\pm Q_{\text{л}}^{\text{к}}/4$	Горизонтальная	$\pm Q_{\text{д}}/2$	
	Места перелома поясов	—	—	$\pm (Q_{\text{л}}^{\text{к}}/4 - M_{\text{л}} \operatorname{tg} \beta/2a)$			

Примечания: 1. За положительные значения приняты усилия растяжения.

2. Усилие в раскосе, отмеченное звездочкой, определено без учета угла наклона грани по отношению к направлению действия силы.

3. Горизонтальная нагрузка на фундаменты действует в направлении диагонали основания башни.

В практике расчета четырехгранных башен с ромбической решеткой используются формулы, позволяющие непосредственно от нагрузки на башню перейти к усилиям во всех ее элементах и нагрузке на фундаменты. В габл. 19 приведены эти формулы со следующими условными обозначениями:

- N — нормальная сила;
- P — узловая вертикальная нагрузка;
- M_d, M_n — изгибающий момент;
- Q_d, Q_n — перерезывающая сила; Q^k_d, Q^k_n — узловая горизонтальная нагрузка при действии соответственно по диагонали башни и перпендикулярно грани башни;
- P_1 — усилие в поясе в панели над узлом перелома;
- a — габарит башни в плане;
- α — угол между раскосом и вертикалью в плоскости грани;
- β — то же, между поясом и вертикалью в плоскости грани;
- γ — то же, в пространстве;
- γ_1 — то же, выше обозначенного сечения.

Дополнительные усилия в раскосах N_p , вызванные совместностью их деформирования с поясами, могут быть приближенно определены по формуле $N_p = \cos^2 \alpha N_n F_p / F_n$, где N_n — нормативное усилие в поясе от массы и воздействия ветра перпендикулярно плоскости грани; F_p и F_n — площади поперечных сечений соответственно раскоса и пояса.

Расчетные длины элементов башни в плоскости и из плоскости граней принимаются по геометрическим размерам между центрами узлов. Для надежной работы конструкций предельные гибкости λ элементов следует ограничить значениями:

для поясов	$\lambda < 80$
для раскосов и распорок крестового сечения	$\lambda < 120$
то же, трубчатого*	$\lambda < 80$
для элементов шпренгеля и внутренних связей	$\lambda < 150$

Деформативность несущей башни оценивается величиной амплитуды колебаний, а сжато-изогнутых распорок — значением прогиба.

Под амплитудой колебаний вытяжной башни понимается максимальное горизонтальное отклонение оси сооружения от вертикали. Наибольший интерес представляет амплитуда верхней точки несущей башни, при определении которой можно пренебречь жесткостью газоотводящего ствола. При нахождении амплитуды в качестве нагрузки принимается полная нормативная ветровая нагрузка, перпендикулярная грани башни. Амплитуду колебаний вытяжной башни можно определить как перемещение в стержневой системе по формуле:

$$\dot{f} = \delta_{rQ} = (1/E) \sum_i (N_{ri} N_{Qi} l_i / F_i), \quad (31)$$

* Для предотвращения возможности возникновения автоколебаний отдельных элементов в ветровом потоке.

где $f = \delta_{rQ}$ — искомая амплитуда колебаний вершины башни (точка r);
 N_{ri}, N_{Qi} — нормативные усилия в i -ом элементе башни от горизонтальной единичной силы, приложенной к вершине башни, и от полной нормативной ветровой нагрузки по направлению, перпендикулярному грани башни, Q_{\perp} ;
 l_i, F_i — длина и площадь поперечного сечения i -го элемента;
 E — модуль упругости материала конструкции башни, для сталей $E = 2,1 \times 10^{11}$ Па.

Амплитуда несущей башни может быть найдена через перемещения ее как консольного стержня при воздействии единичной поперечной силы, приложенной на свободном конце, а именно:

$$f = \sum_1^r Q_i y_{1j}. \quad (32)$$

Относительное значение амплитуды f/H рекомендуется ограничить предельной ее величиной $f/H \leq [f/H] = 1/100$. Прогиб распорки, работающей на изгиб, определяется по деформированной схеме с учетом действия нормальных сил

$$\omega = M_q l^2 / (10EI - Nl^2), \quad (33)$$

где M_q — нормативное значение максимального изгибающего момента от поперечных сил;
 N — нормативная нормальная сила;
 EI — жесткость при изгибе;
 l — пролет.

Относительный прогиб ω/l в силу ответственности такого элемента, как сжато-изогнутая распорка башни, рекомендуется принимать в пределах $\omega/l \leq [\omega/l] = 1/400$.

§ 2. Расчет газоотводящего ствола

Основными нагрузками, действующими на газоотводящий ствол, являются ветер и вес ствола. При выполнении расчетов должны быть также учтены, в случае наличия, нагрузки от теплоизоляции и веса антикоррозионного покрытия ствола (например, путем гуммирования), веса гололедных отложений и затвердевших отложений конденсата на стенках ствола, температурные воздействия и т. д.

Рассмотрим некоторые особенности воздействия ветровой нагрузки на цилиндрическую оболочку. В соответствии со СНиП II-6—74 для цилиндрических оболочек аэродинамический коэффициент s , определяющий характер распределения ветровой нагрузки по периметру оболочки, находится в достаточно сложной зависимости от угловой координаты α , отсчитываемой от оси направления ветрового потока (рис. 51). Для удобства практического выполнения расчета цилиндрической оболочки на ветровую нагрузку зависимость s (α) с необходимой степенью

точности может быть представлена в виде следующего пятичленного ряда:

$$c(\alpha) = Z_0 + Z_1 \cos \alpha + Z_2 \cos 2\alpha + Z_3 \cos 3\alpha + Z_4 \cos 4\alpha. \quad (34)$$

Эпюры правой части разложения (34) представлены на рис. 51. Ниже приведены значения коэффициентов Z_n для цилиндрических оболочек с отношением высоты к диаметру, превышающим 25.

H/D	Z_0	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
≥ 25	-0,958	0,327	1,322	0,559	-0,208

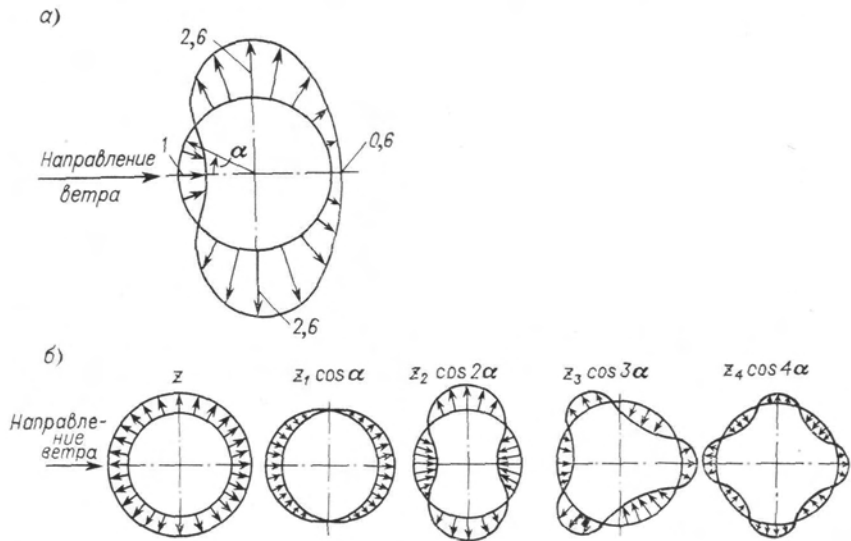


Рис. 51. Эпюры аэродинамического коэффициента $c(\alpha)$
 а — для труб при $H/D \geq 25$; б — эпюры правой части разложения (34)

Разложение аэродинамического коэффициента $c(\alpha)$, а следовательно, и ветровой нагрузки в конечный тригонометрический ряд позволяет существенно упростить решение задачи расчета оболочки, поскольку в этом случае он может производиться на каждую из составляющих нагрузок в отдельности.

Определение расчетных усилий и проверка стенки ствола на прочность. Расчет тонких цилиндрических оболочек на прочность в настоящее время разработан достаточно полно [30, 41, 44, 61]. Основные положения его регламентированы соответствующими указаниями СНиП II-B.3—72. Этот расчет произво-

дится по геометрически линейной расчетной схеме в предположении работы материала конструкций только в упругой стадии.

При воздействии на газоотводящий ствол расчетных нагрузок в его стенках в кольцевом и в продольном направлениях возникают растягивающие или сжимающие усилия, изгибающие моменты и перерезывающие силы (рис. 52). На рис. 52 изображен прямоугольный элемент, вырезанный из стенки цилиндрической оболочки по направлениям ее главных осей. Эти усилия, являющиеся для стенки газоотводящего ствола основными расчетными, могут быть получены, как алгебраическая сумма соответствующих усилий, возникающих от каждой нагрузки или составляющей ее части в отдельности.

Нагрузка от веса ствола, теплоизоляции и т. д. вызывает в стенках газоотводящего ствола в зависимости от условий его опирания продольные сжимающие или растягивающие усилия T_{xm} , определяемые по формуле:

$$T_{xm} = \sum_i \gamma_i h \delta_i, \quad (35)$$

где γ_i — объемная масса ствола, теплоизоляции и т. д.;

h — расстояние от свободного конца ствола до рассматриваемого сечения;

δ_i — толщина стенки ствола, теплоизоляции и т. д.

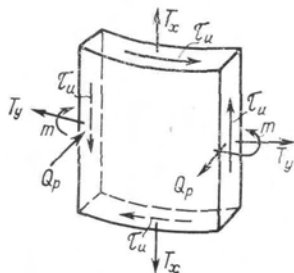


Рис. 52. Внутренние усилия в цилиндрической оболочке

Нагрузка, связанная с нулевым членом Z_0 разложения (34) и представляющая собой осесимметричную составляющую ветровой нагрузки, вызывает в оболочке газоотводящего ствола кольцевое растягивающее усилие T_{y0} , определяемое по формуле:

$$T_{y0} = -\bar{q}rZ_0, \quad (36)$$

где \bar{q} — расчетное давление ветра на единицу площади без учета аэродинамического коэффициента c ;

r — радиус срединной поверхности оболочки.

Нагрузка, связанная со следующим членом $Z_1 \cos a$ разложения (34), является единственной неуравновешенной в каждом кольцевом сечении частью ветровой нагрузки. Она вызывает изгиб газоотводящего ствола как балки. Под действием этой нагрузки в стенке газоотводящего ствола возникают касательные напряжения τ_u и продольные усилия T_{xu} , определяемые по формулам:

$$\tau_u = QS/(I\delta); \quad T_{xu} = M\delta/W, \quad (37)$$

где Q , M — соответственно балочные перерезывающая сила и изгибающий момент в рассматриваемом сечении газоотводящего ствола;

I , W — соответственно момент инерции и момент сопротивления поперечного сечения газоотводящего ствола;

- S — статический момент сдвигающейся части сечения ствола относительно нейтральной оси;
 δ — толщина стенки газоотводящего ствола

Для упрощения расчета при определении балочных усилий Q и M газоотводящий ствол условно считается разрезным, шарнирно опертым в горизонтальном направлении на диафрагмы несущей башни. Расчетная ветровая нагрузка на единицу высоты ствола определяется в соответствии с главой III или из выражения

$$q_p = 2\bar{q}rZ_1 \int_0^{2\pi} \cos^2 \alpha d\alpha. \quad (38)$$

Нагрузка, связанная с остальными тремя членами $(\sum_{n=2}^{n=4} Z_n \times \cos n\alpha)$ разложения (34), вызывает в стенке газоотводящего ствола в основном только кольцевые усилия, связанные с изменением формы поперечного сечения ствола, поскольку все компоненты этой части ветровой нагрузки самоуравновешиваются. Здесь для любого направления направления диаметральной плоскости начала отсчета выполнено условие:

$$Z_n \int_0^{2\pi} \cos n\alpha \cos \alpha d\alpha = 0. \quad (39)$$

Усилия и перемещения, возникающие в стенке газоотводящего ствола от этой нагрузки, могут быть получены из следующих выражений:

$$\omega = \bar{q}r^4 A(\alpha)/D, \quad (40)$$

где ω — радиальное перемещение;

$$A(\alpha) = \sum_{n=2}^{n=4} [Z_n/(n^2 - 1)^2] \cos n\alpha.$$

Кольцевой изгибающий момент:

$$m = -\bar{q}r^2 E(\alpha), \quad (41)$$

$$\text{где } E(\alpha) = \sum_{n=2}^{n=4} [Z_n/(n^2 - 1)] \cos n\alpha.$$

Поперечная сила в кольцевом направлении:

$$Q_p = \bar{q}r F(\alpha), \quad (42)$$

где

$$F(\alpha) = \sum_{n=2}^{n=4} [nZ_n/(n^2 - 1)] \sin n\alpha.$$

Значения функций A , E , P в зависимости от угловой координаты α , меняющейся от 0 до 2π , приведены в табл. 20.

Функции A , E , F для определения усилий и перемещений
в длинных цилиндрических оболочках

α^2	$A(\alpha)$	$E(\alpha)$	$F(\alpha)$
0	0,15469	0,49667	0,00000
7,5	0,14915	0,47821	0,28044
15	0,13294	0,42417	0,54059
22,5	0,10723	0,33849	0,76107
30	0,07398	0,22752	0,92455
37,5	0,03558	0,09968	1,01708
45	0,00512	0,03510	1,02964
52,5	0,04514	0,16612	0,95966
60	0,08157	0,28281	0,81207
67,5	0,11180	0,37577	0,59959
75	0,13375	0,43773	0,34193
82,5	0,14598	0,46435	0,06381
90	0,14783	0,45471	0,20795
97,5	0,13943	0,41133	0,44800
105	0,12166	0,33978	0,63576
112,5	0,09603	0,24784	0,75818
120	0,06454	0,14443	0,81113
127,5	0,02948	0,03843	0,79918
135	0,00674	0,06235	0,73394
142,5	0,04181	0,15196	0,63107
150	0,07359	0,22656	0,50697
157,5	0,10026	0,28431	0,37553
165	0,12038	0,32491	0,24589
172,5	0,13291	0,34889	0,12164
180	0,13723	0,35692	0,00152

Следует, однако, отметить, что приведенные выше выражения дают точное решение только для случая бесконечно длинного цилиндра. Для труб же конечной длины с реальными условиями закрепления концов определение точных значений усилий и перемещений от рассматриваемой части ветровой нагрузки представляет собой достаточно сложную задачу. Решение ее выполняется на ЭВМ с помощью специальных программ. Вместе с тем, практические расчеты газоотводящих стволов показали, что напряжения в них, вызванные кольцевыми усилиями, в подавляющем большинстве случаев оказываются весьма незначительными. Это обстоятельство позволяет и при использовании выражений (40)—(42) получать результаты с достаточной для практических целей точностью.

При расчете газоотводящего ствола в тех случаях, когда диаметр его достаточно велик ($H/D < 25$) необходимо также учитывать усилия, возникающие в стволе от прогиба несущей башни под действием ветровой нагрузки. Эти усилия определяются по формулам (37), где Q и M находятся из условий совместной работы башни и газоотводящего ствола.

По найденным от всех нагрузок суммарным усилиям T_x, T_y, m, τ_u, Q_p можно определить напряженное состояние стенки газоотводящего ствола, которое достаточно полно описывается следующими компонентами:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= T_x/\delta; \quad \sigma_y = T_y/\delta \pm 6m/\delta^2; \\ \tau_{xy} &= \sqrt{\tau_u^2 + \tau_p^2}; \quad \tau_p = (3/2)(Q_p/\delta). \end{aligned} \right\} \quad (43)$$

Проверка прочности наиболее напряженных волокон стенки газоотводящего ствола производится по формуле:

$$\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \leq R. \quad (44)$$

Характерную особенность работы тонкостенных оболочек под нагрузкой составляет явление краевого эффекта. Оно заключается в резком увеличении усилий и перемещений в местах скачкообразного изменения геометрических или физических параметров конструкции. В газоотводящих стволах такими местами являются сечения, где расположены кольца жесткости.

Методы расчета усилий в зонах краевого эффекта представлены достаточно полно в работах И. Е. Прокоповича, В. С. Черниной и др. [44, 61], однако во многих случаях они сложны и громоздки для расчета вручную. Стенку цилиндрической оболочки в зоне краевого эффекта при необходимости можно рассчитывать на ЭВМ по соответствующим программам. Практически же при выполнении проектов вытяжных башен расчет краевого эффекта в газоотводящих стволах, как правило, не производится, и в целях исключения чрезмерных перенапряжений толщину стенки ствола в местах установки опорных колец конструктивно увеличивают на 2—4 мм.

Определенное влияние на напряженное состояние стенок газоотводящего ствола оказывают изменения температурного режима работы сооружения. Наиболее существенно температурные колебания должны проявляться в зонах краевого эффекта, однако и здесь температурные напряжения в большинстве случаев можно не учитывать, поскольку, как показывает практика, принимаемое конструктивно утолщение стенки ствола в районе опорных колец вполне обеспечивает необходимую надежность работы сооружения.

Проверка стенки ствола на устойчивость. Анализ напряженного состояния и данные экспериментов показывают, что устойчивость цилиндрических оболочек определяется, в основном, величиной продольных нормальных сжимающих усилий от воздействия ветровой нагрузки, вызывающей изгиб газоотводящего ствола, и осевого сжатия от веса ствола, утеплителя, гололеда и т. д. Выполненные исследования устойчивости цилиндрических оболочек при действии сжатия и чистого изгиба [6] показали, что критические напряжения для обоих случаев близки по зна-

чениям друг другу. Это дает возможность свести задачу определения критических напряжений при изгибе к аналогичной задаче для осесимметричного сжатия. При решении этой задачи за критерий устойчивости, как правило, принимаются верхние критические напряжения, в которые вводятся коэффициенты запаса $k < 1$.

Проверка устойчивости стенки газоотводящего ствола при отсутствии промежуточных колец жесткости на совместное действие сжатия и изгиба производится по п. 7.5 СНиП II-V.3—72. При этой проверке касательные напряжения в проверяемом сечении должны удовлетворять условию:

$$\tau \leq 0,07E (\delta/r)^{3/2}. \quad (45)$$

Вместе с тем, практика показывает, что при расчете газоотводящих стволов неравенство (45), как правило, не соблюдается, т. е. касательные напряжения в стволе от действия ветровой нагрузки обычно достаточно велики. В этом случае на основании теоремы П. Ф. Папковича и ряда экспериментальных данных [2] граница области устойчивости стенки при общем изгибе ствола может быть определена следующим неравенством:

$$(\tau/\tau_{01})^2 + \sigma/\sigma_{01} \leq 1, \quad (46)$$

где $\sigma = M \cos \alpha / \pi r^2 \delta + N / 2\pi r \delta$;

$\tau = Q \sin \alpha / \pi r \delta$;

M, N, Q — соответственно изгибающий момент, осевая сжимающая сила и перерезывающая сила, действующие в поперечном сечении ствола;

σ_{01} — критические напряжения при сжатии, определяемые по п. 7.5 СНиП II-V.3—72;

τ_{01} — верхнее критическое значение касательных напряжений при действии поперечной силы с понижающим коэффициентом $K=0,707$ [2, 10].

Для длинных оболочек, при $(L/r)^2 (\delta/r) \geq 77$

$$\tau_{01} = [0,167E / (1 - \mu^2)^{3/4}] (\delta/r)^{3/2}, \quad (47)$$

где μ — коэффициент Пуассона;

L — длина оболочки (расстояние между опорными кольцами газоотводящего ствола).

Для средних и коротких оболочек, при $(L/r)^2 (\delta/r) < 77$

$$\tau_{01} = [1,18E / (1 - \mu^2)^{5/8}] (r/L)^{1/2} (\delta/2r)^{3/4}. \quad (48)$$

Левая часть равенства (46) имеет наибольшее значение при $\alpha = \arccos t$, где $t = (\pi \delta M / Q) (\tau_{01}^2 / 2\sigma_{01})$ и находится в интервале $0 \leq t \leq 1$.

Таким образом, проверку устойчивости стенки газоотводящего ствола по формуле (46) следует производить:

на нейтральной оси поперечного сечения (при $\alpha = \pi/2$);

в наиболее удаленной от нейтральной оси точке (при $\alpha = 0$);

в точке с координатой $\alpha = \arccos t$, при $0 < t < 1$.

В тех случаях, когда оболочка газоотводящего ствола на участках между диафрагмами несущей башни подкреплена системой промежуточных кольцевых ребер жесткости, потеря устойчивости ее может быть двух видов: с длиной полуволн изогнутой поверхности по образующей, не превышающей расстояние между промежуточными ребрами жесткости; с протяженностью вмятин, захватывающих помимо оболочки также и ребра жесткости [19].

Учитывая это обстоятельство, проверку устойчивости стенки ствола в данном случае можно производить в такой последовательности. По заданным параметрам можно определить длину полуволн вмятин оболочки в момент потери ее устойчивости по формуле, приведенной в книге А. С. Вольмира [10]:

$$l_x = 2\pi \sqrt{r\delta} / \sqrt[4]{12(1-\mu^2)}. \quad (49)$$

Если l_x окажется меньше расстояния между промежуточными ребрами жесткости, то с достаточным для практических целей приближением можно считать, что ребра жесткости стоят чисто конструктивно и не улучшают жесткостных характеристик оболочки. Проверка устойчивости ее в этом случае производится точно так же, как и гладкой цилиндрической оболочки, т. е. без учета промежуточных ребер жесткости.

Если при определении l_x окажется, что вмятины при потере устойчивости оболочки имеют достаточно большую протяженность и захватывают промежуточные ребра, критические напряжения σ_{01} в выражении (46) следует определять по формуле:

$$\sigma_{01} = (cE\delta/r) \sqrt{(\lambda - \mu^2)/(1 - \mu^2)}, \quad (50)$$

где $\lambda = 1 + (1 - \mu^2) F_p/d_p\delta$;

F_p — площадь промежуточного ребра жесткости;

d_p — шаг ребер по высоте;

c — коэффициент, принимаемый по табл. 39 СНиП II-V.3—72.

Коэффициент c в формуле (50), учитывающий снижение верхнего предела критических напряжений, отражает, в частности, остаточную напряженность, наличие дефектов конструкции. Определение коэффициента c по табл. 39 СНиП II-V.3—72, составленной для гладких цилиндрических оболочек, дает некоторый запас, поскольку для оболочек с подкреплениями влияние начальных несовершенств сказывается значительно меньше, чем для гладких цилиндрических оболочек.

§ 3. Пример расчета

Как правило, в настоящее время вытяжные башни рассчитываются с использованием ЭВМ и соответствующих программ. Однако в ряде случаев может оказаться необходимым выпол-

нить расчет вытяжной башни без электронной техники. Пример наиболее специфической части такого расчета приведен ниже. Отдельные этапы расчета, выполняемые известными методами строительной механики или теории сооружений, опущены. Это касается, например, определения перемещений от единичных сил u , проверки несущей способности и гибкости элементов и т. п.

Исходные данные. Вытяжная башня высотой $H=100$ м с газоотводящим стволом диаметром $D=2,0$ м сооружается в V ветровом (на местности типа А) и I снеговом районе. Конструктивная схема сооружения и его основные геометрические характеристики приведены на рис. 53, а. На отметке +15 м к газоотводящему стволу подходят газоходы, имеющие самостоятельные опоры. Вертикальное опирание газоотводящего ствола на башню осуществляется на отметке +30 м. На время монтажа и ремонта предусмотрена возможность подвески газоотводящего ствола на отметке +90 м. Горизонтальное опирание газоотводящего ствола выполнено в виде скользящих опор, как это показано на рис. 39, и осуществляется в уровне всех диафрагм несущей башни. Толщина оболочки газоотводящего ствола $\delta=4$ мм. Материал конструкций несущей башни и газоотводящего ствола — сталь ВСт. 3сп5.

Сбор нагрузок на башню. Вес башни, площадок, лестниц и т. п. Я определяется по номограмме (см. рис. 47) и составляет $P=1210$ кН. Распределение веса башни по высоте в уровне диафрагм выполнено по формуле (5) и сведено в табл. 21. Например, для верхней диафрагмы башни (сечение II) входящие в формулу (5) величины имеют следующие значения: $h=3,5$ м, $A=16$ м, $a=4$ м, $Y_6=H_d=90$ м. В данном случае $P_7=2 \times 1210 \times 3,5 \times 4 : 90(16+4) = 19$ кН. Аналогично для сечения 10: $h=7$ м, $A=16$ м, $a=4$ м, $H_6=90$ м, $H_d=83$ м и, наконец, $P_d=2 \times 1210 \times 7 \times [16 \times 90 - (16-4)83] : 90^2(16+41) = 46$ кН. Веса башни и площадок в каждом из сечений соответственно определены в предположении, что $P_6=0,6 P_d$, $P_{пл}=0,4 P_d$.

Вес газоотводящего ствола с учетом конструктивного коэффициента 1,15 определяется формулой:

$$P = 1,15\pi D\delta h\gamma,$$

где h — длина участка ствола, зависящая от схемы опирания;
 $\gamma=78,5$ кН/м³ — плотность.

При расчете несущей башни рассматриваемого сооружения в условиях нормальной эксплуатации вес всего газоотводящего ствола прикладывается в сечении 3, при определении ветровой нагрузки вес газоотводящего ствола распределяется в соответствии с местами его горизонтального опирания (табл. 21).

Для определения ветровой нагрузки эпюры нормативного скоростного напора ветра q_0 по СНиП II-6—74 и с разбивкой на

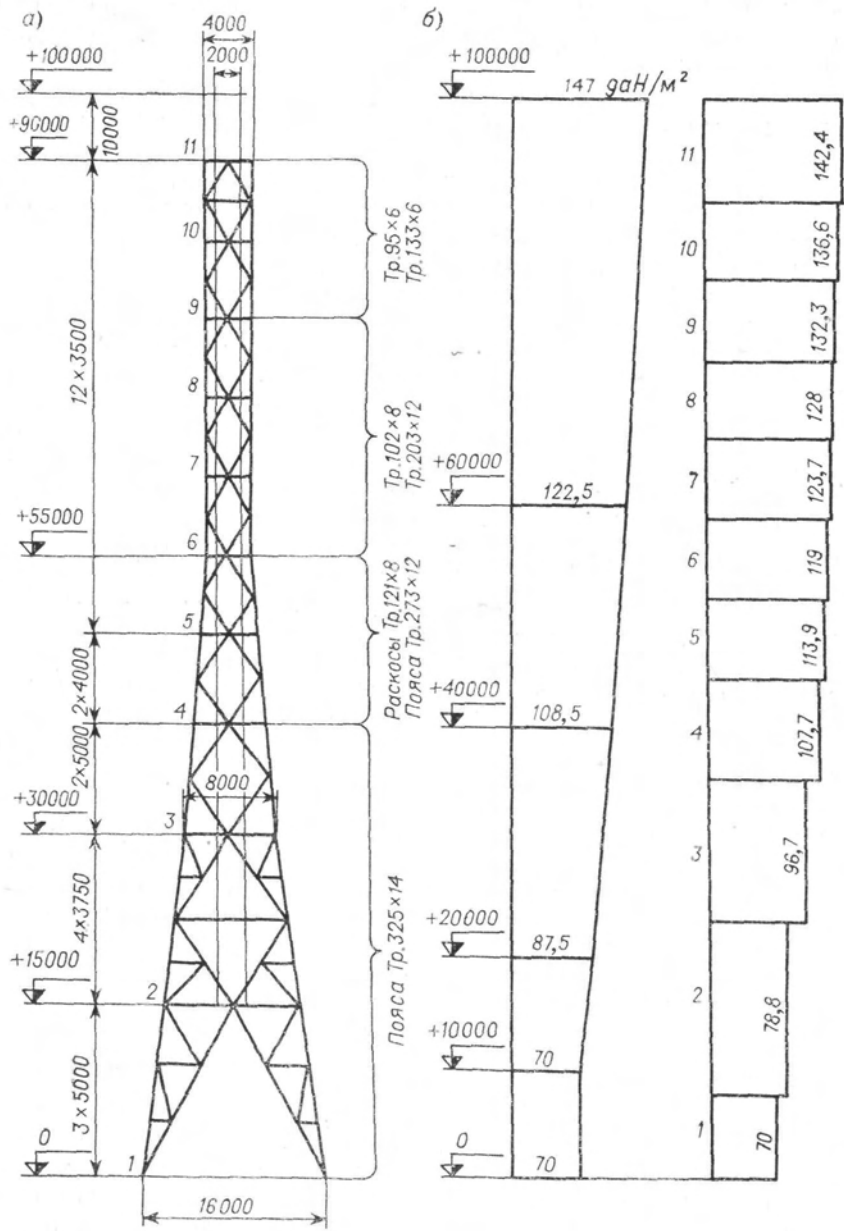


Рис. 53. К примеру расчета
 а — схема вытяжной башни; б — эпюры нормативного скоростного напора ветра q_0

Нормативная нагрузка от веса конструкций вытяжной башни

Таблица 21

	Диафрагма (сечение башни)	Расстояние от основания башни до рассматриваемой диафрагмы H_d , м	Высота участка, относящегося к рассматриваемой диафрагме h , м	Вес несущей башни		Длина участка газоотводящего ствола h , м			Вес газоотводящего ствола P_r , кН			$P_d + P_r$, кН для определения ветровой нагрузки	
				в сечении P_d , кН	в том числе		для определения усилий в элементах башни		для определения ветровой нагрузки	для определения усилий в элементах башни			для определения ветровой нагрузки
					пояса и решетки P_b , кН	площадки-диафрагмы $P_{пл}$, кН	в эксплуатационных условиях	на стадии монтажа		в эксплуатационных условиях	на стадии монтажа		
11	90	3,5	19	11	8	—	85	13,5	—	193	31	50	
10	83	7	46	28	18	—	—	7	—	—	16	62	
9	76	7	55	33	22	—	—	7	—	—	16	71	
8	69	7	64	38	26	—	—	7	—	—	16	80	
7	62	7	73	44	29	—	—	7	—	—	16	89	
6	55	7	82	49	33	—	—	7	—	—	16	98	
5	48	7,5	97	58	39	—	—	7,5	—	—	17	114	
4	40	9	129	77	52	—	—	9	—	—	20	149	
3	30	12,5	202	121	81	85	—	12,5	193	—	28	230	
2	15	15	282	169	113	—	—	7,5	—	—	17	299	
1	0	7,5	161	161	—	—	—	—	—	—	—	161	
Σ	—	—	1210	789	421	—	—	—	193	193	193	1403	

участки относительно расчетных сечений сооружения представлены на рис. 53, б,

Аэродинамические коэффициенты c (табл. 22) элементов башни вычислены по формулам табл. 16; аэродинамический коэффициент c газоотводящего ствола в режиме действующих скоростных напоров постоянный, равный 0,7 ($d_1' q_0 > 11,13$).

Определение нормативной узловой нагрузки на башню $Q_{ст}$ от статического действия скоростного напора выполнено в соответствии с рекомендациями главы III и сведено в табл. 23. Значения некоторых величин, промежуточные действия при вычислении которых опущены, установлены следующим путем. Например, в сечении 10 наветренные площади грани башни по наружному габариту: $S = 4,13 \times 7 = 28,9 \text{ м}^2$; элементов: $\sum f_i = 0,133 \times 7 \times 2 + 0,095 \times 4,04 \times 4 + 0,16 \times 4 = 4,03 \text{ м}^2$. Для $\sum f_i c_i$ использованы полученные выше значения f_i , а c_i из табл. 22: $1,86 \times 0,45 + 1,53 \times 0,6 + 0,64 \times 1,4 = 2,65$. Площадь фасонок найдена с учетом $k_{ф} = 1,1$. Далее по формуле (23): $c_{ф} = (2,65 + 1,4 + 0,1 \times 4,03) : 28,9 = 0,11$; коэффициент заполнения грани башни (с учетом фасонок) $\varphi = 4,03 \times 1,1 : 28,9 = 0,15$, а $\eta = 0,92$ (п. 17, табл. 8, СНиП II-6—74). Аэродинамический коэффициент участка башни (без учета затенения ее газоотводящим стволом) $c_{пр} = 0,21$. Узловая нагрузка на башню от статического действия скоростного напора, действующего перпендикулярно плоскости грани, $Q_{ст}^v = q_0 c_{пр} S = 8,3 \text{ кН}$.

Динамическое воздействие порывов ветра $Q_{дин}$ вычисляют в соответствии с формулами (9, 10) и данными табл. 24. Период основного тона поперечных колебаний вытяжной башни определяется по формуле (29), преобразованной для удобства вычисления к следующему виду:

$$T = 2\pi \sqrt{y_{11} \sum P \alpha^2 / g \alpha_{11}} = 1,08 \text{ с.}$$

Полная узловая нагрузка получена суммированием значений $Q_{ст}$ и $Q_{дин}$ (табл. 24).

Схема зонального действия ветра определяется с помощью следующих параметров: уровня раздела нагрузки на зоны, коэффициента спада ветровой нагрузки γ .

Для рассматриваемой схемы башни уровень раздела нагрузки на зоны как точка схода поясов нижней призматической части башни находится на высоте 60 м. Коэффициенты спада X в функции от z (см. рис. 49) имеют следующие значения: при определении усилий в раскосах ниже сечения 3 ($z = 16,6 \text{ м}$) $X = 0,556$, для опорных раскосов $g = 21,2 \text{ м}$, $\chi = 0,595$; при определении усилий в распорке в месте перелома поясов $\chi = 0,67$ ($z = 30 \text{ м}$). Величина нагрузки от ветра при его зональном действии в соответствующих схемах для определения усилий в раскосах и распорках приведена в табл. 28. Для башни с рассматриваемой схемой решетки усилия от ветра в распорке в сечении

Аэродинамические коэффициенты с элементов несущей башни

Сечение	Наименование элементов									
	Пояса				Раскосы			Распорки		
	q_0 , даН/м ²	d , м	$dV\bar{q}_0$	c	d , м	$dV\bar{q}_0$	c	d , м	$dV\bar{q}_0$	c
11	142,4	0,133	1,59	0,45	0,095	1,13	0,58	□ 16	—	1,4
10	136,6	0,133	1,55	0,45	0,095	1,11	0,6	□ 16	—	1,4
9	132,3	0,133	1,53	0,45	0,095	1,09	0,62	□ 16	—	1,4
	—	0,203	2,33	0,45	0,102	1,17	0,55	—	—	—
8	128	0,203	2,30	0,45	0,102	1,15	0,56	□ 16	—	1,4
7	123,7	0,203	2,26	0,45	0,102	1,13	0,58	□ 16	—	1,4
6	119	0,203	2,21	0,45	0,102	1,11	0,60	□ 16	—	1,4
	—	0,273	2,98	0,48	0,121	1,32	0,45	—	—	—
5	113,9	0,273	2,91	0,47	0,121	1,29	0,45	□ 16	—	1,4
4	107,7	0,273	2,83	0,47	0,121	1,26	0,46	□ 16	—	1,4
	—	0,325	3,37	0,51	0,146	1,52	0,45	—	—	—
3	96,7	0,325	3,2	0,49	0,146	1,44	0,45	0,095	0,93	0,77
	—	—	—	—	0,133	1,31	0,45	0,0635	0,62	1,06
2	78,8	0,325	2,89	0,47	0,133	1,18	0,54	0,203	1,8	0,45
	—	—	—	—	0,146	1,30	0,45	0,121	1,07	0,64
	—	—	—	—	—	—	—	0,095	0,84	0,86
1	70	0,325	2,72	0,46	0,146	1,22	0,50	0,0635	0,53	1,15
	—	—	—	—	0,133	1,11	0,60	—	—	—

Нормативная узловaя нагрузка на башню $Q_{ст}$ от статического действия скоростного напора

Сечение	Высота грузовой площади газоотводящего ствола и башни, м	Нормативный скоростной напор ветра q_0 , даН/м ²	От действия ветра на башню										От действия ветра на газоотводящий ствол		Узловaя нагрузка $Q_{ст}$, кН		
			S , м ²	$\Sigma f_i c_i$	Σf_i	$\Sigma f_i c_i + 1,4 (k_\Phi - 1) \Sigma f_i$	c_Φ	Φ	η	$c_{тр}$	Узловaя нагрузка, кН		S , м ²	c	узловaя нагрузка, кН	для определения усилий в решетке	для определения усилий в поясах
											ветер перпендикулярно плоскости грани	ветер по диагонали башни, $\psi=1,1$					
11	$h_T=13,5$; $h_G=3,5$	142,4	14,45	2,66	2,98	3,08	0,21	0,23	0,79	0,38	7,8	8,6	27	0,7	26,9	34,7	35,5
10	7	136,6	28,9	2,65	4,03	3,21	0,11	0,15	0,92	0,21	8,3	9,1	14	0,7	13,4	21,7	22,5
9	7	132,3	29,2	2,88	4,58	3,52	0,12	0,17	0,88	0,23	8,9	9,8	14	0,7	13	21,9	22,8
8	7	128	29,4	3,1	5,13	3,22	0,13	0,19	0,86	0,24	9	9,9	14	0,7	12,5	21,5	22,4
7	7	123,7	29,4	3,13	5,13	3,85	0,13	0,19	0,86	0,24	8,7	9,6	14	0,7	12,1	20,8	21,7
6	7	119	30,5	3,4	5,8	4,21	0,14	0,21	0,83	0,26	9,4	10,3	14	0,7	11,7	21,1	22
5	7,5	113,9	40,7	4,07	7,12	5,07	0,12	0,19	0,86	0,22	10,2	11,2	15	0,7	12	22,2	23,2
4	9	107,7	61	5,47	9,44	6,79	0,11	0,17	0,9	0,21	13,8	15,2	18	0,7	13,6	27,4	28,8
3	12,5	96,7	109,6	7,8	15,17	9,92	0,09	0,15	0,92	0,17	18	19,8	25	0,7	16,9	34,9	36,7
2	$h_T=7,5$; $h_G=15$	78,8	185	11,5	22,17	14,64	0,08	0,13	0,95	0,16	23,3	25,6	15	0,7	8,3	31,6	33,9
1	$h_G=7,5$	70	115	4,2	8,34	5,37	0,05	0,08	1	0,1	8	8,8	—	—	—	8	8,8

Нормативная узловая нагрузка на башню $Q_{\text{дин}}$ от динамического воздействия порывов ветра и полная нормативная ветровая нагрузка на башню Q

Сечение	Высота от основания сооружения до рассматриваемого сечения, м	Нормативный скоростной напор ветра q_0 , даН/м ²	Коэффициент пульсации, m	P , кН	g , м/МН	α	$P\alpha^2$	ε_1	σ^2	v	Ветер перпендикулярно плоскости грани (для определения усилий в решетке)					Ветер по диагонали башни (для определения усилий в поясах)				
											$Q_{\text{ст}}$, кН	$\alpha Q_{\text{ст}}^m$	$(\sum \alpha Q_{\text{ст}} \times m) : \sum P\alpha^2$	$Q_{\text{дин}}$, кН	Q , кН	$Q_{\text{ст}}$, кН	$\alpha Q_{\text{ст}}^m$	$(\sum \alpha Q_{\text{ст}}^m) : \sum P\alpha^2$	$Q_{\text{дин}}$, кН	Q , кН
11	90	142,4	0,43	50	1,975	1	50	0,049	1,93	0,625	34,7	14,92	—	16,8	51,5	35,5	15,3	—	17,5	53
10	83	136,6	0,437	62	1,554	0,787	38,4	0,048	1,92	0,631	21,7	7,46	—	16,6	38,3	22,5	7,74	—	17,1	39,6
9	76	132,3	0,444	71	1,192	0,605	26	0,047	1,91	0,637	21,9	5,88	—	14,6	36,5	22,8	6,12	—	15,2	38
8	69	128	0,451	80	0,884	0,447	16	0,046	1,9	0,643	21,5	4,33	—	12,2	33,7	22,4	4,52	—	12,7	35,1
7	62	123,7	0,458	89	0,619	0,313	8,7	0,046	1,9	0,648	20,8	2,98	—	9,6	30,4	21,7	3,11	—	9,9	31,6
6	55	119	0,465	98	0,419	0,212	4,4	0,045	1,9	0,667	21,1	2,08	0,28	7,4	28,5	22	2,17	0,29	7,6	29,6
5	48	113,9	0,472	114	0,274	0,139	2,2	0,044	1,89	0,69	22,2	1,46	—	5,8	28	23,2	1,52	—	6	29,2
4	40	107,7	0,48	149	0,161	0,082	1	0,043	1,88	0,7	27,4	1,08	—	4,5	31,9	28,8	1,13	—	4,7	33,5
3	30	96,7	0,515	230	0,086	0,0435	0,44	0,04	1,85	0,7	34,9	0,78	—	3,6	38,5	36,7	0,82	—	3,8	40,5
2	15	78,8	0,575	299	0,019	0,0096	0,03	0,036	1,82	0,7	31,6	0,17	—	1,02	32,6	33,9	0,19	—	1,1	35
1	0	70	0,6	161	—	—	—	0,034	1,8	0,7	8	—	—	—	8	8,8	—	—	—	8,8
—	—	—	—	—	—	—	$\Sigma 147,17$	—	—	—	—	$\Sigma 41,15$	—	—	—	—	$\Sigma 42,62$	—	—	—

Нормативные усилия в элементах башни от веса конструкций

Таблица 25

Наименование элементов	Формула	Сечения										
		11	10	9	8	7	6*	5	4	3*	2	1
Пояса	$N = \sum_{б, пл, г} P, \text{ кН}$	19 212	65 258	120 313	184 377	257 450	339 532	436 629	565 758	960	1242	1403
	$N/4, \text{ кН}$	5 53	16 65	30 78	46 94	64 112	85 133	109 157	141 189	240	311	351
	$\cos \gamma$	1	1	1	1	1	0,993	0,993	0,993	0,983	0,983	0,983
	Усилие в поясе, кН	5 53	16 65	30 78	46 94	64 112	85 134	110 158	142 190	244	316	357
Раскосы	$P = (P_{пл} + P_r)/4, \text{ кН}$	2 51	5	6	7	7	8	10	13	69 20	28	—
	$\cos \alpha$	0,868	0,868	0,868	0,868	0,868	0,840	0,813	0,813	0,835	0,877	—
	Усилие в раскосе, кН	1 29	3	3	4	4	5	6	8	41 12	16	—
Распорки	$\text{tg } \gamma$	0	0	0	0	0	0,113	0,113	0,113	0,188	0,188	—
	$P = P_0/4, \text{ кН}$	—	—	—	—	—	12	15	19	30	42	—
	Усилие P_1 в поясе в панели над узлом перелома, кН	—	—	—	—	—	64	—	—	141	—	—
	$\cos \gamma_1$	—	—	—	—	—	112	—	—	189	—	—
	$\sin \gamma_1$	—	—	—	—	—	1	—	—	0,993	—	—
	Усилие в распорке, кН	0	0	0	0	0	5 9	1	1	11 14	7	—

Примечания: 1. Все усилия сжимающие.

2. В знаменателе даны значения нагрузок и усилий при подвеске газоотводящего ствола на стадии монтажа или во время ремонта.

3. Звездочкой обозначены сечения в месте перелома поясов.

Таблица 26

Усилия в поясах башни от нормативной полной ветровой нагрузки (ветер по диагонали башни)

Q, кН	Сечения																			
	10		9		8		7		6		5		4		3		2		1	
	z, м	M, кН·м	z, м	M, кН·м	z, м	M, кН·м	z, м	M, кН·м	z, м	M, кН·м	z, м	M, кН·м	z, м	M, кН·м	z, м	M, кН·м	z, м	M, кН·м	z, м	M, кН·м
53	7	371	14	742	21	1113	28	1484	35	1855	42	2226	50	2650	60	3180	75	3975	90	4770
39,6	—	—	7	277	14	554	21	832	28	1109	35	1386	43	1703	53	2099	68	2693	83	3287
38	—	—	—	—	7	266	14	532	21	798	28	1064	36	1368	46	1748	61	2318	76	2888
35,1	—	—	—	—	—	—	7	246	14	491	21	737	29	1018	39	1369	54	1895	69	2422
31,6	—	—	—	—	—	—	—	—	7	221	14	442	22	695	32	1011	47	1485	62	1959
29,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7	207	15	444	25	740	40	1184	55	1628
29,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	234	18	526	33	964	48	1402
33,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10	335	25	838	40	1340	
40,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15	608	30	1215	
35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15	525	
8,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
$\Sigma M, \text{ кН·м}$	371		1019		1933		3094		4474		6062		8112		11 008		15 960		21 436	
$a \sqrt{2}, \text{ м}$	5,66		5,66		5,66		5,66		5,66		7,24		9,05		11,3		17		22,6	
$\cos \gamma$	1		1		1		1		0,993		0,993		0,993		0,983		0,983		0,983	
Усилие в поясе, кН	±66		±180		±342		±547		±796		±843		±903		±991		±955		±965	

Усилия в решетке башни от нормативной полной ветровой нагрузки (ветер перпендикулярно плоскости грани)

Q, кН	Сечения																					
	11		10		9		8		7		6*		5		4		3*		2		1	
	z, м	M, кН·м	z, м	M, кН·м	z, м	M, кН·м	z, м	M, кН·м	z, м	M, кН·м	z, м	M, кН·м	z, м	M, кН·м	z, м	M, кН·м	z, м	M, кН·м	z, м	M, кН·м	z, м	M, кН·м
51,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	35	1802	42	2163	50	2575	60	3090	75	3862	90	4685	
38,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	28	1072	35	1340	43	1647	53	2030	68	2604	83	3179	
36,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21	766	28	1022	36	1314	46	1679	61	2226	76	2774	
33,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	472	21	708	29	977	39	1314	54	1890	69	2325	
30,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7	213	14	426	22	669	32	973	47	1429	62	1885	
28,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7	200	15	428	25	712	40	1140	55	1568	
28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	224	18	504	33	924	48	1344	
31,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10	319	25	798	40	1276	
38,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15	578	30	1155	
32,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15	489	
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
$\Sigma M, \text{кН}\cdot\text{м}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4325	5859	7834	10 621	15 381	20 630							
$\Sigma Q, \text{кН}$	51,5	89,8	126,3	160	190,4	218,9	246,9	278,8	317,3	349,9	357,9											
$\sin \alpha$	0,495	0,495	0,495	0,495	0,495	0,545	0,585	0,585	0,556	0,47	—											
$\text{tg } \beta$	0	0	0	0	0	0,08	0,08	0,08	0,133	0,133	—											
$a, \text{м}$	4	4	4	4	4	4	5,12	6,4	8	12	16											
$\Sigma Q/4, \text{кН}\cdot\text{м}$	12,9	22,4	31,6	40	47,6	54,7	61,7	69,7	79,3	87,5	89,5											
$\Sigma M \text{ tg } \beta/2a$	—	—	—	—	—	43,2	45,8	49	88,3	85,2	—											
Усилие в раскосе, кН	±26	±45	±64	±81	±96	±21	±27	±35	±16	±5	—											
Усилие в распорке, кН	±13	±10	±9	±8	±8	±36	±7	±8	±79	±8	—											

Усилия в решетке башни от нормативной ветровой нагрузки при зональном действии ветра
(перпендикулярно плоскости грани)

В сечении 3*									В сечении 2					
z, м	Определение усилий в раскосах, $\chi = 0,556$				Определение усилий в распорках, $\chi = 0,67$				z, м	Определение усилий в раскосах, $\chi = 0,595$				
	Схема по рис. 49, з		Схема по рис. 49, д		Схема по рис. 49, з		Схема по рис. 49, д			Схема по рис. 49, з		Схема по рис. 49, д		
	$Q_{зон}'$ кН	M , кН·м	$Q_{зон}'$ кН	M , кН·м	$Q_{зон}'$ кН	M , кН·м	$Q_{зон}'$ кН	M , кН·м		$Q_{зон}'$ кН	M , кН·м	$Q_{зон}'$ кН	M , кН·м	
60	28,6	1716	51,5	3090	34,5	2070	51,5	3090	75	30,6	2295	51,5	3862	
53	21,3	1129	38,3	2030	25,7	1362	38,3	2030	68	22,8	1550	38,3	2604	
46	20,3	934	36,5	1679	24,5	1127	36,5	1679	61	21,7	1324	36,5	2226	
39	18,7	729	33,7	1314	22,6	881	33,7	1314	54	20,1	1085	33,7	1820	
32	16,9	541	30,4	973	20,4	653	30,4	973	47	18,1	851	30,4	1429	
25	28,5	712	15,8	395	28,5	712	19,1	478	40	28,5	1140	17	680	
18	28	504	15,6	281	28	504	18,8	338	33	28	924	16,7	551	
10	31,9	319	17,7	177	31,9	319	21,4	214	25	31,9	798	19	475	
—	38,5	—	21,4	—	38,5	—	25,8	—	15	38,5	578	22,9	344	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	32,6	—	19,4	—	
ΣM , кН·м		6584	—	9939	ΣM , кН·м	7628	—	10 116	ΣM , кН·м	10 545	—	—	13 991	
ΣQ , кН		232,7	—	260,9	—		—	—	ΣQ , кН	272,8	—	—	285,4	
$\sin \alpha$		0,556	—	0,556	—		—	—	$\sin \alpha$	0,47	—	—	0,47	
$\operatorname{tg} \beta$		0,133	—	0,133	$\operatorname{tg} \beta$		0,133	—	$\operatorname{tg} \beta$	0,133	—	—	0,133	
a, м		8	—	8	a, м		8	—	a, м	12	—	—	12	
$\Sigma Q/4$, кН		58,2	—	65,2	$Q_{зон}/4$, кН		10	—	$\Sigma Q/4$, кН	68,2	—	—	71,4	
$\Sigma M \operatorname{tg} \beta/2a$		54,7	—	82,6	$\Sigma M \operatorname{tg} \beta/2a$		63,4	—	$\Sigma M \operatorname{tg} \beta/2a$	58,4	—	—	77,5	
Усилие в раскосе, кН		±6	—	±31	Усилие в распорке, кН		±53	—	±78	Усилие в раскосе, кН		±21	—	±13

Комбинации усилий в элементах несущей башни (эксплуатационные условия)

Сечение	Расчетные усилия в поясах, кН					Расчетные усилия в раскосах, кН				Расчетные усилия в распорках, кН		
	от ветровой нагрузки, $n = 1,3$	от веса конструкций		суммарные		от ветровой нагрузки, $n = 1,3$	от веса конструкций, $n = 1,1$	от совместности деформаций	суммарные	от ветровой нагрузки, $n = 1,3$	от веса конструкций, $n = 1,1$	суммарные
		max $n = 1,1$	min $n = 0,9$	—	+							
11	—	—6	—5	—	—	±34	±1	—	±35	±17	—	±17
10	±86	—18	—14	104	72	±59	±3	—	±62	±13	—	±13
9	±234	—33	—27	267	207	±83	±3	—	±86	±12	—	±12
8	±445	—51	—41	496	404	±105	±4	—	±109	±10	—	±10
7	±711	—71	—58	782	653	±125	±4	—	±129	±10	—	±10
6	±1035	—93	—76	1128	959	±27	±6	—	±33	±47	—6	±53
5	±1096	—121	—99	1217	997	±35	±7	—	±42	±9	—1	±10
4	±1174	—156	—128	1330	1046	±46	±9	—	±55	±10	—1	±11
3	±1288	—269	—220	1557	1068	±40	±45	—112	—112	±103	—12	±115
2	±1242	—348	—284	1590	958	±27	±18	—190	—190	±10	—8	±18
1	±1254	—393	—321	1647	933	—	—	—	—	—	—	—

2 определяются только местной нагрузкой, и схема зонального действия ветра в данном случае не является расчетной

Определение усилий в элементах башни. Вычисление усилий в элементах башни от действия веса конструкций и от ветровой нагрузки выполнено в табличной форме (табл. 25—28) по формулам табл. 19. Расчетные усилия от указанных воздействий в элементах несущей башни даны в табл. 29. При этом значения дополнительных усилий в раскосах в сечениях 2 и 3 от совместности их деформирования с поясами получены по формуле, приведенной на стр. 122.

ГЛАВА V

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОНСТРУКЦИЙ ВЫТЯЖНЫХ БАШЕН

§ 1. Основные направления компоновочных решений

Развитие и интенсификация промышленного производства в различных отраслях народного хозяйства страны, как правило, связаны с увеличением объема и степени концентрации вредных выделений. Несмотря на наличие и постоянное совершенствование систем очистных сооружений, это обстоятельство в совокупности с необходимостью соблюдения жестких требований санитарных норм в отношении допустимых концентраций вредных веществ на уровне земли ставит новые задачи и повышенные требования к вытяжным башням.

Технологические условия, во многом предопределяющие компоновочные решения и основные направления развития конструктивных форм вытяжных башен, могут быть сведены к двум основным требованиям: к необходимости значительного увеличения размеров (высот и диаметров) газоотводящих стволов и количества стволов в одном сооружении. Последнее связано не только с технологическими требованиями отвода вредных выделений одновременно от нескольких агрегатов, но и с целесообразностью размещения в одной несущей конструкции, помимо рабочих, также и специально предусмотренных резервных газоотводящих стволов. При этом улучшаются также условия застройки территории промышленного предприятия.

Имеющийся отечественный и зарубежный опыт строительства показывает, что при больших высотах возводятся, как правило, многоствольные вытяжные башни. Для оценки перспектив развития конструкций вытяжных башен необходимо учитывать наличие определенной взаимосвязи технологических требований с повышенными требованиями к условиям эксплуатации сооружения, включающих обеспечение безопасности полета самолетов. Эти требования приводят к необходимости устройства в вытяжных башнях специальных подъемных лифтов и маршевых

лестниц с соответствующей системой обслуживающих площадок, что оказывает существенное влияние на решение схемы сооружения в целом.

По общей компоновочной схеме (взаимному расположению газоотводящих стволов и несущей конструкции) многоствольные вытяжные башни больших высот могут быть представлены следующими основными группами.

- 1) Вытяжные башни, в которых несколько газоотводящих стволов расположено внутри одной несущей башни.
- 2) То же, но с расположением всех или нескольких газоотводящих стволов с внешней стороны несущей башни.
- 3) Вытяжные башни, в которых газоотводящие стволы находятся в поясах несущей башни.
- 4) Вытяжные башни с газоотводящими стволами внутри несущей башни-трубы.

Приведенная классификация сооружений, основанная на имеющихся пока еще немногочисленных сведениях по проектированию и строительству многоствольных вытяжных башен большой высоты, естественно, не может рассматриваться как всеобъемлющая. Наметившаяся в последние годы тенденция к увеличению объема строительства вытяжных башен большой высоты позволит, при необходимости, по мере накопления опыта внести в эту классификацию необходимые коррективы.

Компоновочное решение вытяжных башен с газоотводящими стволами внутри несущей башни, определяющее первую группу сооружений, представляет собой механическое перенесение широко распространенных конструктивных схем одноствольных вытяжных башен на многоствольные. Для высот до 250 м такое решение является наиболее простым, однако использование его для многоствольных вытяжных башен существенно ограничивается возможностями размещения внутри несущей башни всех газоотводящих стволов. При больших высотах сооружений использование такой компоновочной схемы приводит также к значительному усложнению конструктивных решений несущей башни. Это, в свою очередь, вызывает дополнительные трудности при выборе методов монтажа сооружения, а также приводит к увеличению трудозатрат при изготовлении и монтаже металлоконструкций.

Вторая группа сооружений применяется пока только для случаев многоствольных башен высотой до 200 м. Тем не менее данную компоновочную схему можно считать перспективной и приемлемой для башен больших высот, поскольку здесь размеры несущей башни, не связанные с требованием размещения внутри нее газоотводящих стволов, могут быть приняты наиболее близкими к оптимальным. Большим достоинством этой компоновочной схемы сооружения является возможность достаточно простой замены того или иного газоотводящего ствола на новый в случае необходимости. Опыт показывает, что при по-

добной компоновочной схеме вытяжной башни могут быть найдены интересные инженерные решения сооружения в целом.

Компоновочное решение вытяжной башни, определяющее третью группу сооружений, является экономически наиболее целесообразным в первую очередь для башен достаточно больших высот (более 300 м). В башнях небольшой высоты такое решение потребует искусственного увеличения размеров поясов несущей башни и может привести к существенному перерасходу металла. Схема сооружения с использованием поясов башни для размещения в них газоотводящих стволов является также весьма перспективным компоновочным решением, открывающим широкие возможности для разработки экономичных и интересных по инженерным решениям новых конструктивных форм вытяжных башен больших высот. В этом случае пояса несущей башни, в зависимости от конкретных условий строительства и эксплуатации сооружения, могут иметь вид решетчатых пространственных конструкций или цилиндрических оболочек. Это создает определенную универсальность компоновочной схемы и расширяет ее возможности с учетом перспективного развития конструкций вытяжных башен. Кроме того, такая схема сооружения может легко выступать в комбинации с другими ранее рассмотренными компоновочными схемами, поскольку допускает дополнительное размещение газоотводящих стволов как внутри несущей башни, так и за ее пределами.

Компоновочная схема, определяющая четвертую группу сооружений, получившая известность под условным названием «труба в трубе», так же как и первая схема, является достаточно широко распространенной, особенно в зарубежной практике. Следует, однако, отметить, что такая компоновочная схема чаще всего применяется при решении сооружений в смешанных конструкциях, т. е. в сооружениях, где несущая башня-труба выполняется в монолитном железобетоне, а газоотводящие стволы, шахты лифтов, диафрагмы и прочие конструкции — в металле и других материалах.

Это компоновочное решение выгодно отличается от других простотой конструктивных форм, а также удобствами выполнения ремонтных работ и работ по организации антикоррозионной защиты конструкций. Кроме того, обтекаемая форма сооружения существенно улучшает его аэродинамические характеристики, что позволяет снизить расчетную величину ветровой нагрузки и расход материала на несущие конструкции. Вместе с тем, следует отметить, что положительные стороны компоновочной схемы «труба в трубе» проявляются в высоких сооружениях только в том случае, когда несущая башня-труба выполняется в монолитном железобетоне. Возможности выполнения консольно стоящей трубы больших высоты и диаметра в металле существенным образом ограничиваются, во-первых, трудностями конструктивного решения оболочки трубы,

во-вторых, опасностью возникновения резонансных колебаний сооружения при воздействии ветровой нагрузки. Выстроенные к настоящему времени свободно стоящие металлические трубы без футеровки имеют высоту, не превышающую 120 м.

Наряду с приведенными выше компоновочными решениями в настоящее время имеются проектные разработки на строительство вытяжных башен большой высоты путем наращивания существующих труб, выполненных в монолитном железобетоне. Такое решение, как правило, вызывает необходимость устройства несущей башни для поддержания верхней надстраиваемой части газоотводящего ствола и поэтому оно условно может быть отнесено к первой группе компоновочных решений сооружения.

Известно также предложение, представляющее собой принципиально новое общее компоновочное решение вытяжных башен большой высоты, носящее, правда, по крайней мере на ближайший период времени, проблематичный характер. Суть этого предложения заключается в полном отказе от строительства дорогостоящей несущей башни для газоотводящих стволов и в использовании подъемной силы воздухоплавательных аппаратов (типа аэростатов) с целью обеспечения заданного положения газоотводящих стволов. В этом случае для газоотводящих стволов требуется изыскание специальных материалов, обладающих новыми качествами по сравнению с применяемыми в настоящее время.

§ 2. Основные направления развития конструктивных форм вытяжных башен

Каждая группа рассмотренных выше компоновочных схем вытяжных башен, вполне естественно, может иметь в зависимости от конкретных условий объекта строительства различные конструктивные формы и разнообразные конструктивные решения составных элементов сооружения.

Как уже отмечалось ранее, опыт строительства многоствольных вытяжных башен большой высоты сравнительно невелик и, следовательно, не позволяет в полной мере раскрыть и должным образом проанализировать это широкое разнообразие возможных инженерных решений и с достаточным обоснованием выявить те из них, которые являются наиболее перспективными для данного типа сооружений. Вместе с тем, накопленный опыт, проведенные научные исследования и выполненные на различных стадиях проектные разработки дают весьма ценные материалы, позволяющие выявить основные направления инженерной мысли по решению комплекса проблем, связанных с освоением этих новых в инженерной практике сооружений.

Ниже на конкретных примерах, взятых в основном из практики работ Ленинградского отделения ЦНИИ «Проектсталькон-

струкция», будут рассмотрены и в определенной степени проанализированы наметившиеся основные направления развития конструктивных форм многоствольных вытяжных башен для каждой группы сооружений.

Вытяжные башни с газоотводящими стволами внутри несущей башни. Конструктивные формы вытяжной башни такой компоновочной схемы мало отличаются от традиционных форм широко распространенных одноствольных сооружений небольших высот с четырехгранной несущей башней. Наиболее естественным решением несущей башни при этой компоновочной схеме может служить обычная многогранная решетчатая башня с переломом граней по высоте. В таком случае при выборе габарита и силуэта несущей башни можно руководствоваться теми же положениями, что и для четырехгранной башни. Правда, увеличение количества газоотводящих стволов и их высоты может привести к экономической целесообразности увеличения общего количества граней несущей башни. Последнее позволяет более удобно разместить газоотводящие стволы и уменьшить расчетные длины элементов решетки, а также увеличить число изломов граней по высоте с целью создания формы сооружения, наиболее близкой к форме бруса равного сопротивления.

Примером сооружения, решенного по такой конструктивной схеме, может служить вытяжная башня высотой 280 м глиноземного комбината (проект 1972 г.). Район строительства соответствует северной климатической зоне; ветровые нагрузки - III географическому району по СНиП II-A.11—62.

Сооружение состоит из шестигранной решетчатой башни с диаметрами описанных окружностей основания и верха соответственно 50 и 22 м, двух газоотводящих стволов диаметром 8 м каждый и шахты лифта диаметром 3,75 м с лестничными (рис. 54). Газоотводящие стволы опираются на собственные фундаменты и в местах диафрагм башни имеют скользящие опоры, обеспечивающие свободу вертикальных температурных перемещений стволов и передачу горизонтальных ветровых нагрузок на несущую башню. Один из газоотводящих стволов является резервным.

Диафрагмы на призматическом участке башни выполнены выносными, в виде кольцевых площадок, расположенных с внешней стороны башни. Такой прием решения диафрагм для многоствольных вытяжных башен является широко распространенным и имеет целью уменьшение их габарита по ширине. Все элементы несущей башни трубчатые, из низколегированных сталей; монтажные соединения основных рабочих элементов приняты на высокопрочных болтах.

По-новому решены в этом сооружении узлы сопряжения элементов решетки с поясами несущей башни и между собой. Большие усилия в раскосах, превышающие в нижней части

башни 2 МН, а также относительно большие диаметры труб поясов (более 1 м) привели к интересному решению основных узлов башни на парных фасонках (рис. 55). В принятом решении трубчатые элементы решетки в районе узла переходят

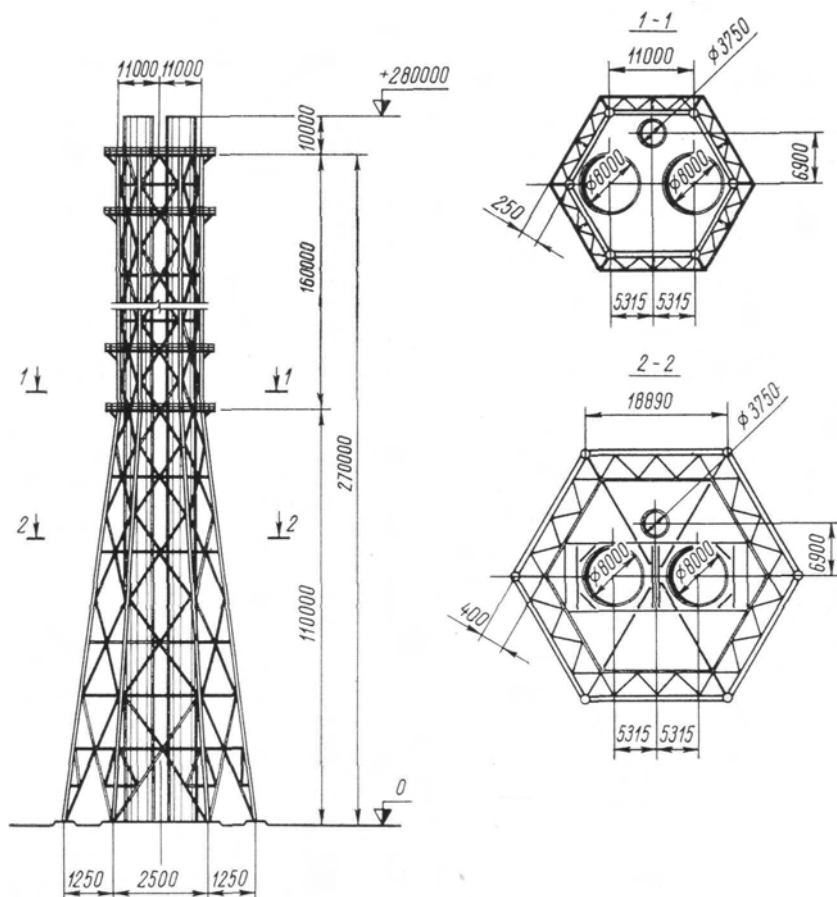


Рис. 54. Вытяжная башня высотой 280 м с двумя газоотводящими стволами, расположенными внутри решетчатой башни (рабочий проект)

в замкнутое коробчатое сечение, которое при помощи соответствующих накладок соединяется с узловыми фасонками. Эти узлы обеспечивают надежную работу соединения, довольно таки просты в исполнении и могут быть рекомендованы для узловых сопряжений на высокопрочных болтах.

Для более полной характеристики сооружения можно отметить, что величина максимального расчетного усилия в поясе

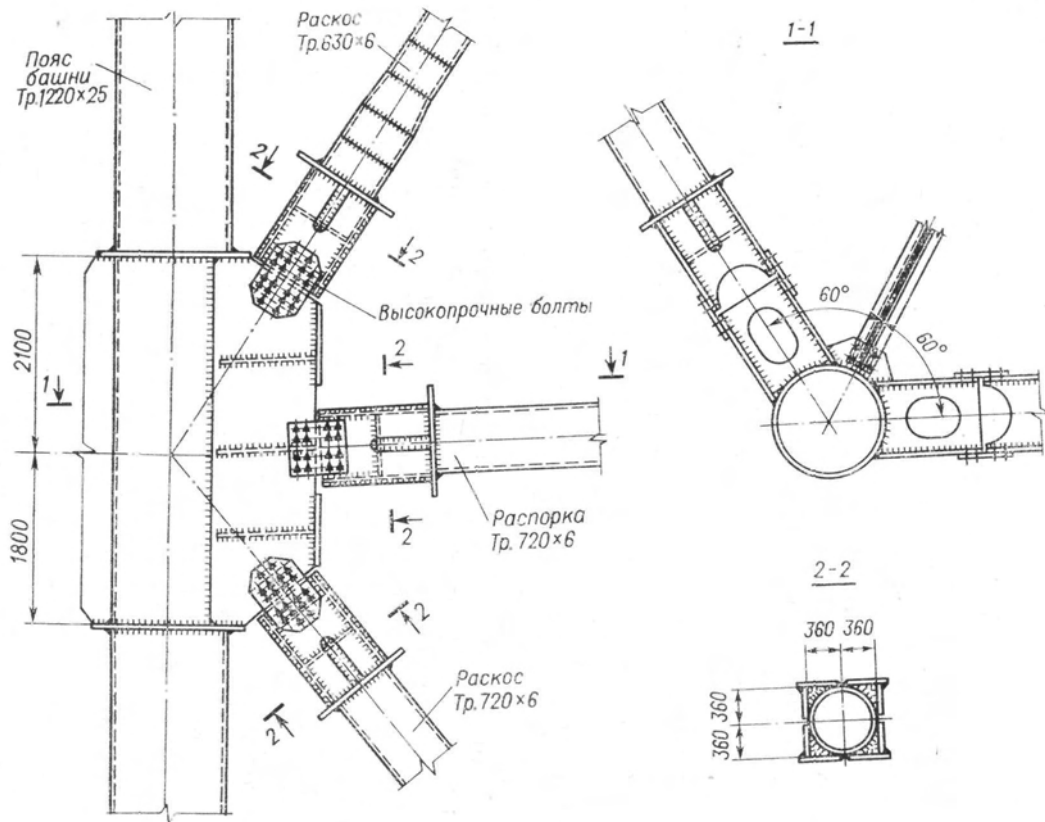


Рис. 55. Узел сопряжения раскосов с поясами башни на парных фасонках

несущей башни достигает 30 МН; закрепление поясов на фундаментах предусмотрено при помощи специальных закладных конструкций, рассчитанных на вырывающее усилие 22 МН. Общий расход стали на сооружение составляет согласно проекту 3400 т, в том числе на несущую башню — 2560 и на газоотводящие стволы, лифт и лестницы — 840 т. Интересны также цифры распределения расхода стали по конструктивным элементам несущей башни: на пояса — 1390, решетку — 850 и диафрагму — 320 т. Как видно, при данной схеме сооружения расход стали на диафрагмы достаточно велик и составляет 12,5% от общего расхода на несущую башню.

В целом рассмотренное сооружение, несмотря на кажущуюся простоту конструктивных форм, является достаточно трудоемким в изготовлении и сложным в монтаже вследствие наличия большого количества элементов разных длин, сложных диафрагм, наклонного положения поясов и т. д. Для вытяжных башен больших высот такая конструктивная форма сооружения вряд ли может быть отнесена к числу перспективных. В этом случае предпочтительнее схема башни с подкосами. На рис. 56 изображен общий вид такой вытяжной башни высотой 320 м, представляющей собой один из вариантов решения схемы сооружения, разработанного в 1972 г. на стадии технического проекта для главного здания ГРЭС. Район строительства относится к средней полосе и по ветровым нагрузкам соответствует I географическому району.

Башня имеет два газоотводящих ствола диаметром 8,4 м каждый и шахту лифта диаметром 3 м. Как видно из рис. 56, несущая башня представляет собой решетчатый многогранник призматической формы, подпертый на отметке 108 м тремя подкосами, расположенными в плане под углом 120°. Многогранник интересен тем, что он представляет собой систему плоских решетчатых панелей размером 18X3,2 м, устанавливаемых поярусно в шахматном порядке, образуя в смонтированном виде чередующиеся с панелями безраскосные участки граней тех же размеров. Подкосы башни имеют трубчатое сечение диаметром 3,2 м, что допускает их перевозку длинными цапгами.

В принятой схеме несущей башни, несмотря на большое количество граней, общее количество отправочных монтажных элементов относительно невелико, и, что очень существенно, большинство из них имеют стандартные для данного сооружения размеры. Все это значительно снижает трудоемкость изготовления металлоконструкций и существенно расширяет возможности использования различных способов их монтажа.

Следует кстати отметить, что для большинства высотных сооружений башенного типа вопросы монтажа металлоконструкций оказывают весьма существенное влияние на выбор схемы сооружения. Зачастую они являются вообще решающими, и это не удивительно, если учесть, что только на изготовление

оснастки монтажных работ при возведении сооружения подобного типа требуется порой расход стали в объеме 20—25% от общего расхода стали на несущие металлоконструкции.

В рассматриваемом сооружении общий расход стали по проектным данным составляет 5370 т, в том числе на несущую

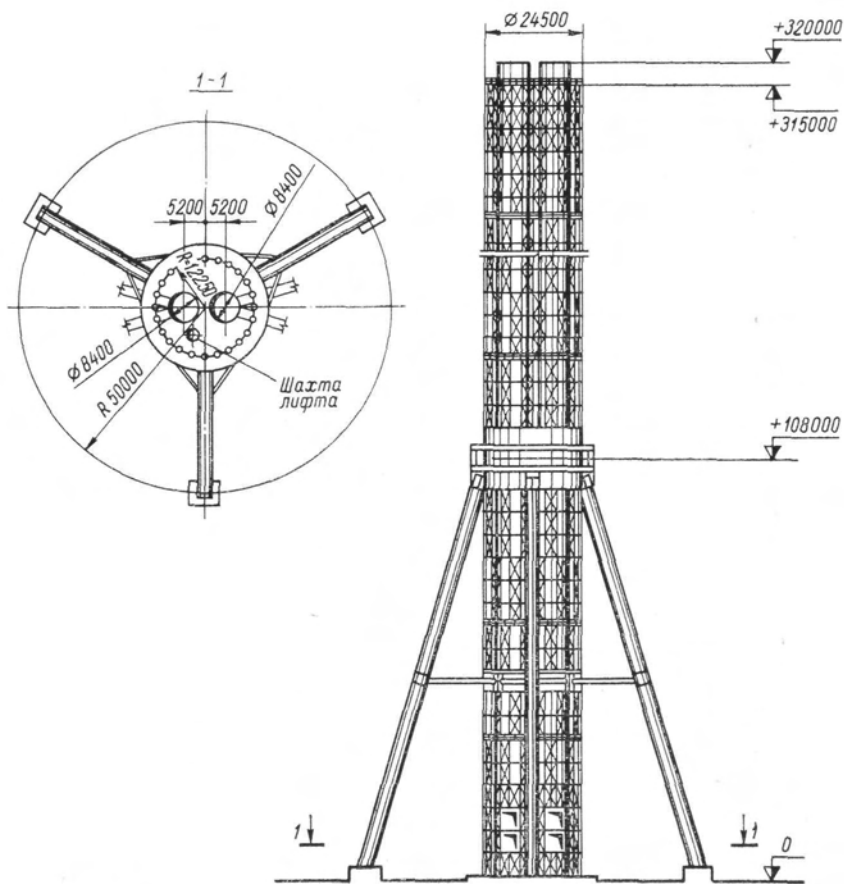


Рис. 56. Схема решетчатой вытяжной башни (с подкосами) высотой 320 м с двумя газотводящими стволами

башню — 3520. Произведенное в этом проекте сравнение технико-экономических показателей различных конструктивных схем сооружения показало, что рассматриваемая схема, несмотря на наличие ряда положительных качеств, относится к числу зешений, являющихся по весовым показателям наименее экономичными. Это ставит под сомнение вообще целесообразность

применения для таких высот сооружений подобной компоновочной схемы с решетчатой башней.

Изображенная на рис. 56 схема может быть использована с некоторым видоизменением. Дополнительная опора в пей может быть выполнена в виде самостоятельной стержневой конструкции. Сопряжение ее с призматической частью башни рассчитывается только на передачу горизонтальных нагрузок. Такая схема требует еще более высокого расхода металла на несущие конструкции, однако позволяет вести монтаж не только газоотводящих стволов, но и призматической части башни наиболее прогрессивным в настоящее время способом — путем подращивания снизу.

Рассматривая конструктивные формы вытяжных башен с газоотводящими стволами внутри несущей башни, можно остановиться еще на одном сооружении — многоствольной вытяжной башне высотой 180 м для ТЭЦ Сыктывкарского лесопромышленного комплекса. Эта башня при относительно небольшой ее высоте интересна тем, что представляет собой пример удачного решения схемы сооружения с использованием элементов вспомогательных конструкций для несущего каркаса.

Сооружение состоит из четырехгранной несущей башни, четырех газоотводящих стволов диаметром 4 и 5 м и квадратной в плане шахты лифта размерами 2,5X2,5 м (рис. 57). Общая компоновочная схема сооружения в данном случае принята таким образом, что шахта лифта располагается в центре башни и ее каркас используется в качестве промежуточной опоры для элементов диафрагм. При таком решении значительно упрощаются конструкции диафрагм, удобно решаются обслуживающие и переходные площадки и, несмотря на завышенные размеры в плане призматической части башни, принятая компоновочная схема сооружения с внутренним расположением газоотводящих стволов становится экономически оправданной. Все основные рабочие элементы несущей башни имеют трубчатое сечение; монтажные соединения выполнены на сварке или, при небольших расчетных усилиях, на болтах нормальной точности. Общий расход стали на сооружение составляет 1830 т, в том числе на несущую башню — 820.

Приведенное краткое описание ряда проектов многоствольных вытяжных башен с газоотводящими стволами внутри несущей башни, понятно, не охватывает всех возможных конструктивных решений, но, тем не менее, опыт проектирования дает основание считать, что целесообразность применения данной компоновочной схемы сооружения исчерпывается высотами 200—250 м и что для многоствольных вытяжных башен больших высот следует искать принципиально новые, более совершенные решения.

Вытяжные башни, в которых все или несколько газоотводящих стволов расположены с внешней стороны несущей башни.

Такая компоновочная схема по сравнению с ранее рассмотренной имеет определенные преимущества, поскольку открывает более широкие возможности по созданию для многоствольных вытяжных башен новых и наиболее эффективных конструктив-

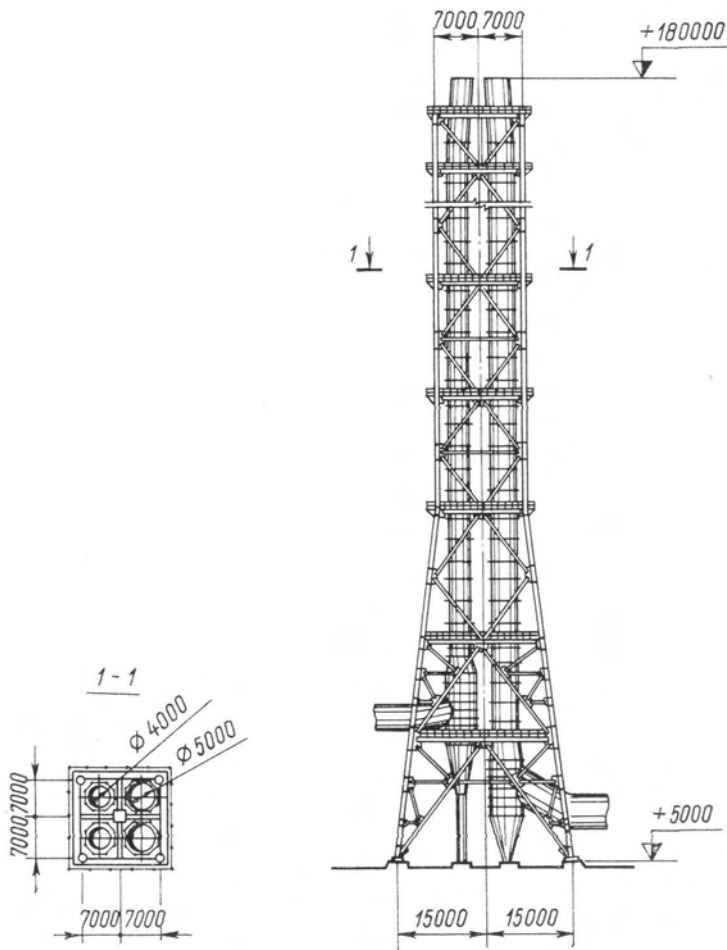


Рис. 57. Вытяжная башня высотой 180 м с четырьмя газоотводящими стволами ТЭЦ Сыктывкарского ЛПК

ных форм. Эти возможности могут быть показаны на следующих примерах.

На рис. 58 изображен общий вид вытяжной башни высотой 150 м, запроектированной в 1973 г. для Подмосковского горнохимического комбината. Это сооружение состоит из трехгранной несущей башни с размерами сторон основания и верха

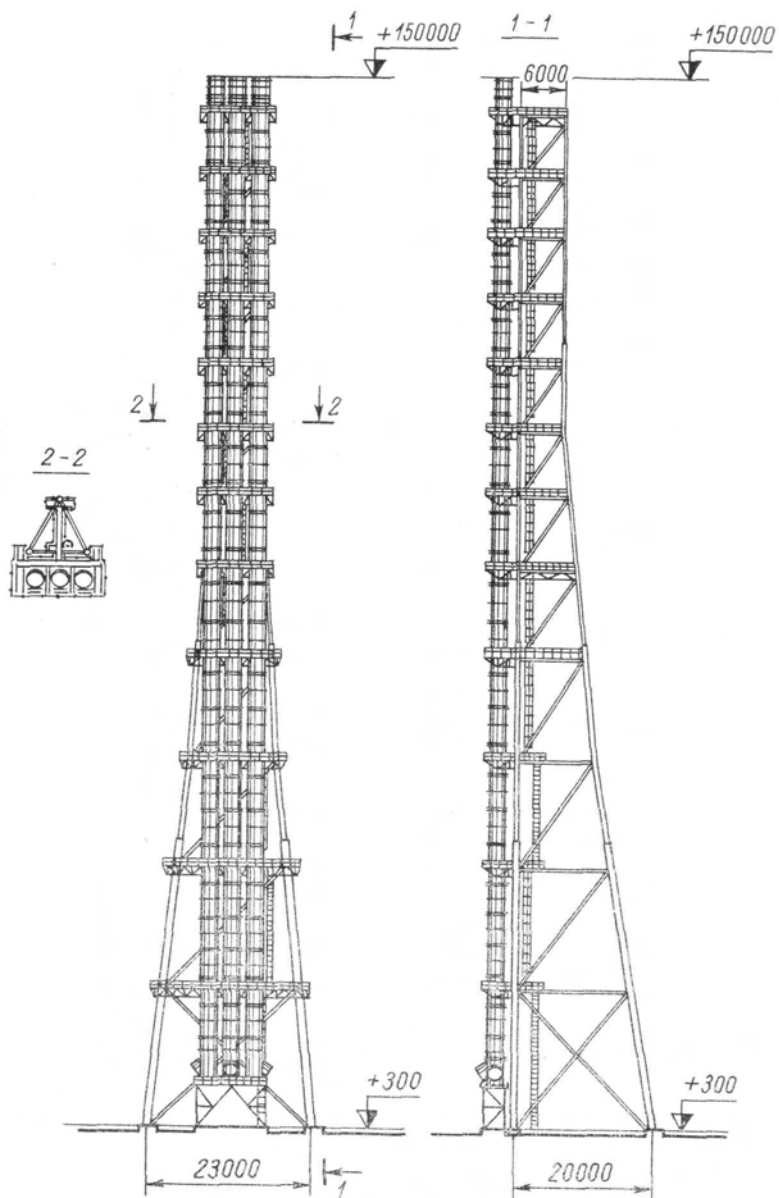


Рис. 58. Вытяжная башня высотой 150 м с тремя газотводящими стволами Подмосковского горнохимического комбината

соответственно 23 и 7 м и трех газоотводящих стволов диаметром 1,8 м каждый. Несущая башня, имеющая укрупненные панели и раскосную решетку, выполнена несимметричной: две ее грани имеют по два перелома по высоте, одна грань — вертикальная. Все газоотводящие стволы расположены перед вертикальной гранью башни, на которой предусмотрены специальные консольные площадки. Газоотводящие стволы опираются на собственные фундаменты через пространственную конструкцию высотой 6,5 м. На период ремонта стволов предусмотрена также возможность подвески их к верхней площадке несущей башни. В уровне каждой консольной площадки газоотводящие стволы имеют скользящие опоры, не препятствующие вертикальным температурным перемещениям стволов и одновременно обеспечивающие передачу на башню ветровых нагрузок (рис. 59).

Конструкции основных несущих элементов консольных площадок выполнены таким образом, что позволяют без больших затруднений ремонтировать газоотводящие стволы или, при необходимости, заменять их на новые. Последнее является положительным качеством рассматриваемой компоновочной схемы сооружения, поскольку необходимость регулярного проведения ремонтных работ в данном случае является одним из элементов нормальных условий эксплуатации сооружения.

Все сечения поясов и решетки несущей башни выполнены из труб, а монтажные соединения — на сварке и болтах нормальной точности. Максимальные расчетные усилия в поясах башни достигают 4,3 МН. Общий расход стали на сооружение составляет 346 т, из них на несущую башню — 251.

Характеризуя сооружение в целом, можно отметить, что оно имеет эффективный внешний вид, удобно в эксплуатации и экономично по расходу металла. Благодаря малому количеству элементов башни существенно снижается трудоемкость ее изготовления и монтажа.

Несколько иные конструктивные решения при аналогичной общей компоновочной схеме имеет вытяжная башня высотой 180 м, запроектированная в 1973 г. для одного из химкомбинатов (I ветровой район строительства). Сооружение имеет два газоотводящих ствола диаметром 3 м каждый, расположенных, как и в предыдущем случае, вдоль вертикальной грани несущей башни (рис. 60). Несущая башня выполнена четырехгранной с подкосами с целью упрощения узлов примыкания и закрепления консольных площадок внутри башни. Верхняя призматическая часть имеет размеры в плане 12X10 м; основание (без учета подкосов) — 28X10 м. Газоотводящие стволы в рабочем положении опираются на консольную площадку башни на отметке 29,25 м. Опирающие их на башню для передачи горизонтальных нагрузок осуществляется через каждые 30 м.

Сечения основных элементов башни трубчатые, монтажные соединения сварные. Расчетные сжимающие усилия в поясах

и подкосах достигают соответственно 10,8 и 5,4 МН. Общий расход стали на сооружение составляет 740 т, на несущую башню — 550 т.

Сравнивая это сооружение с рассмотренным выше, можно отметить, что в первом из них несущая башня имеет более лаконичные формы, более четкую статическую схему работы конструкций, меньшее количество отправочных монтажных элемен-

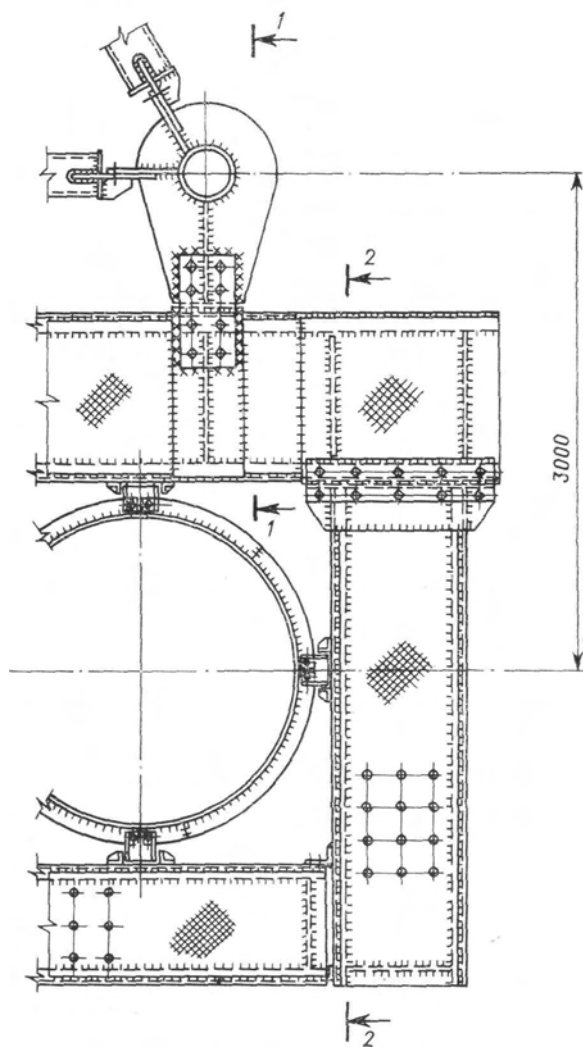
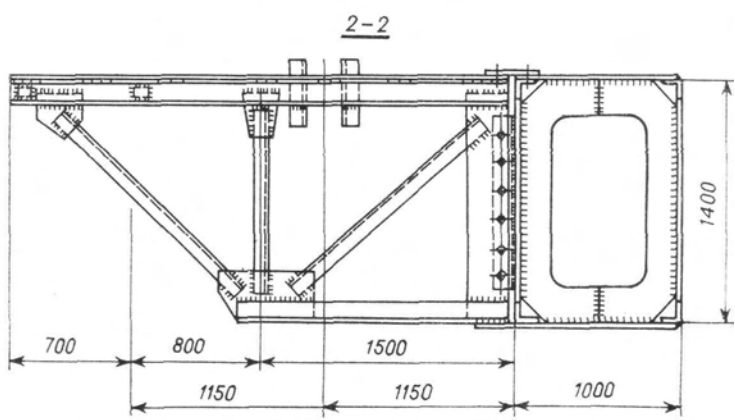
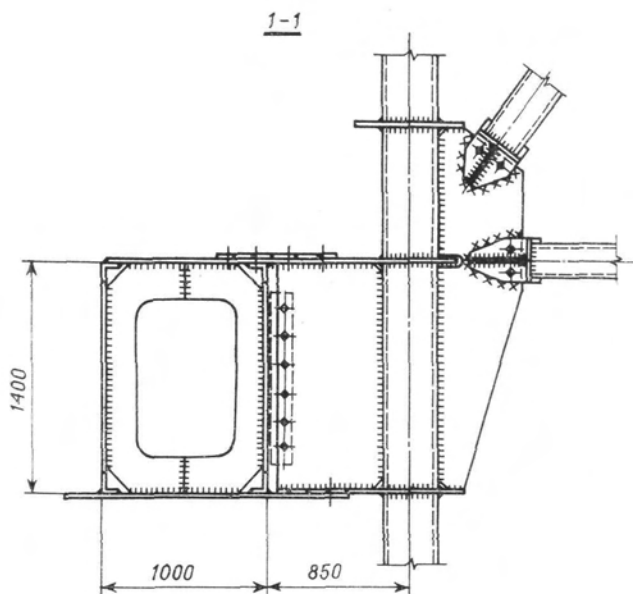


Рис. 59. Узел примыкания газотводящего ствола к нохимического комбината

тов. Трехгранная башня в сочетании с внешним расположением газоотводящих стволов позволяет отказаться от горизонтальных диафрагм жесткости. К тому же она менее чувствительна к неравномерным осадкам фундаментов.

Во втором из рассмотренных сооружений положительным является большая однотипность элементов несущей башни и возможность более простого решения основных узловых соедине-



несущей башне высотой 150 м Подмосковного гор-

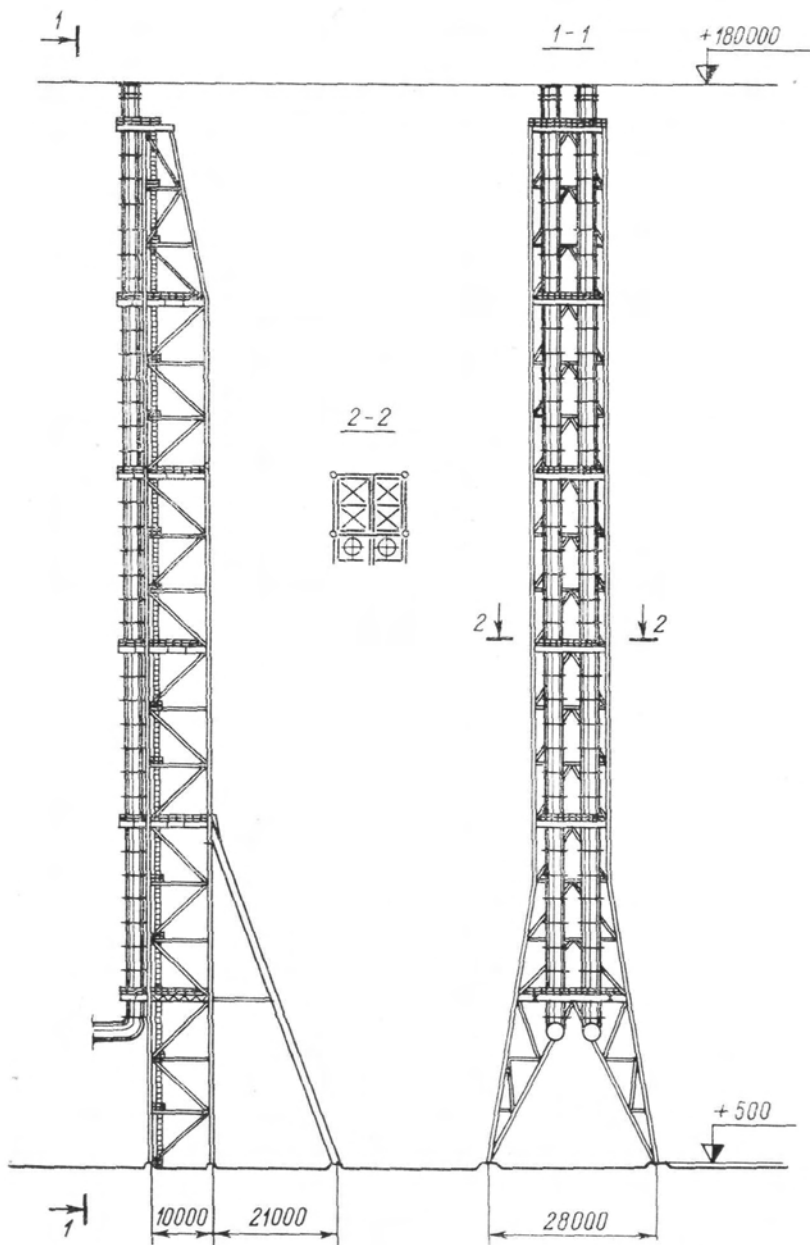


Рис. 60. Общий вид вытяжной башни высотой 180 м с двумя газотводящими стволами, расположенными с наружной стороны несущей башни

ний элементов конструкций. Кроме того, башня с подкосами может оказаться экономичнее других схем сооружения для высот, превышающих аналогичную высоту башни без подкосов. Это необходимо учитывать при выборе схемы сооружения для конкретных условий строительства.

В качестве следующего примера сооружения, решенного по той же компоновочной схеме, рассмотрим вытяжную башню высотой 80 м Джамбульского завода двойного суперфосфата.

Как видно из рис. 61, в данном сооружении, состоящем из четырехгранной несущей башни и трех газоотводящих стволов диаметром 3 м каждый, один из стволов расположен внутри несущей башни, а два других — по противоположным ее граням с внешней стороны. Все газоотводящие стволы опираются на собственные фундаменты и в целях обеспечения передачи на башню горизонтальных нагрузок имеют подвижное в вертикальном направлении примыкание к башне через конструкции диафрагм и консольных площадок. Башня, кроме того, рассчитана на восприятие дополнительных нагрузок от газоотводящих стволов в случае подвешивания их к ней в уровне верхней площадки.

Принятая для данного сооружения схема позволяет иметь достаточно простые конструктивные решения всех элементов сооружения и их сопряжений между собой, а также хорошие показатели по расходу стали. При трубчатых сечениях элементов поясов и решетки расход стали на несущую башню и сооружение в целом составляет здесь соответственно 160 и 262 т.

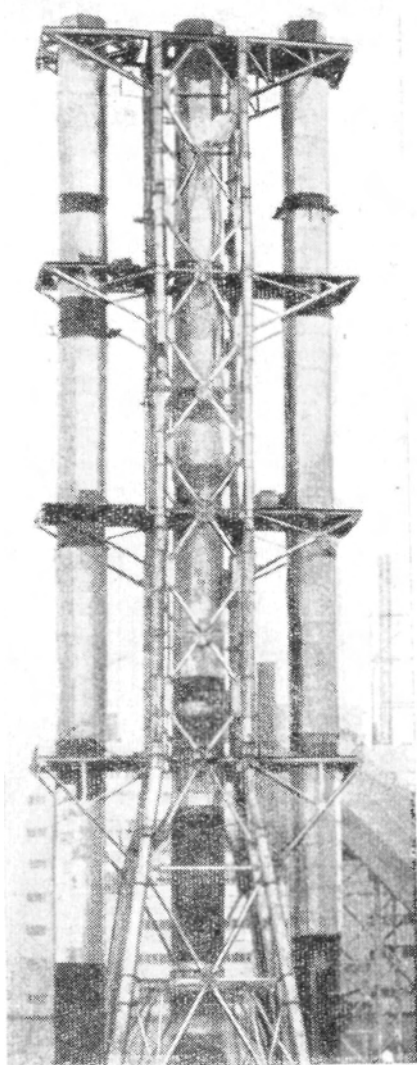


Рис. 61. Вытяжная башня высотой 80 м с тремя газоотводящими стволами Джамбульского завода двойного суперфосфата

По такой же схеме построена вытяжная башня высотой 100 м на Котласском целлюлозно-бумажном комбинате. В сооружении также три газоотводящих ствола диаметром 2,37 м, а несущая четырехгранная башня опирается на специальный стальной портал высотой 31 м, расположенный внутри здания.

Рассмотренная схема является экономически оправданной только для вытяжных башен небольших высот с тремя газоотводящими стволами, когда диаметры их соизмеримы с конструктивно необходимыми размерами в плане призматической части несущей башни.

Аналогичная компоновочная схема находит определенное применение и за рубежом. Так, для одной из электростанций в Австрии построено сооружение с тремя газоотводящими стволами высотой 165 м, правда, в качестве несущей конструкции там была принята не башня, а мачта с двумя ярусами оттяжек. Газоотводящие стволы в этом сооружении расположены с внешней стороны граней трехгранного ствола мачты.

Заканчивая рассмотрение данной группы Сооружений, можно еще раз подчеркнуть, что объединяющая их общая компоновочная схема, несмотря на ограниченность приведенных здесь примеров, является, безусловно, перспективной и в дальнейшем позволит найти, кроме упомянутых, и другие интересные решения для многоствольных вытяжных башен.

Вытяжные башни с расположением газоотводящих стволов в поясах несущей башни. Идея решения сооружений по такой компоновочной схеме, являющейся новой и принципиально отличной от ранее рассмотренных, появилась только в последние годы в связи с возникшей необходимостью строительства вытяжных башен очень больших высот.

В настоящее время имеется потребность в строительстве вытяжных башен высотой 400 и даже 600 м. При больших высотах все элементы и в первую очередь пояса несущей башни достигают таких размеров, что оказывается технически возможным и экономически целесообразным размещение внутри них не только лифтов и лестниц, но и газоотводящих стволов.

В связи с тем, что проблема строительства сверхвысоких металлических вытяжных башен возникла сравнительно недавно, в настоящее время еще нет ни осуществленных, ни даже начатых строительством сооружений такого вида. Имеющиеся материалы представляют собой лишь единичные проектные разработки, которые будут рассмотрены ниже.

На рис. 62 представлен макет вытяжной башни высотой 600 м, разработанной на стадии технического проекта для одного из горнометаллургических комбинатов страны. Район строительства этого уникального сооружения — Крайний Север с расчетной температурой наружного воздуха —45° С и нормативным скоростным напором ветра на уровне земли — 100 даН/м². Гололедность соответствует II географическому району.

Вытяжная башня предназначена для размещения в ней двух газоотводящих стволов диаметром 8 м и высотой 600 м, а также грузопассажирского лифта и маршевой лестницы. Несущая башня состоит из трех вертикальных стволов, выполненных в виде цилиндрической оболочки диаметром 13 м, расположенных в плане по углам равносторонней треугольнику со стороной 80 м. Стволы соединены между собой распорками через 86 м по высоте и крестовыми предварительно напряженными связями, образуя сооружение башенного типа в форме трехгранной призмы. Из-за большой изгибной жесткости поясов полувывернутой трехгранной башни верхняя панель ее решена в виде безраскосной рамной конструкции. Исходя из тех же условий, два пояса башни, в которых размещены газоотводящие стволы, возвышаются в виде консоли длиной 46 м над верхней распоркой-ригелем. Третий пояс башни, с размещенным внутри него лифтом и маршевой лестницей,

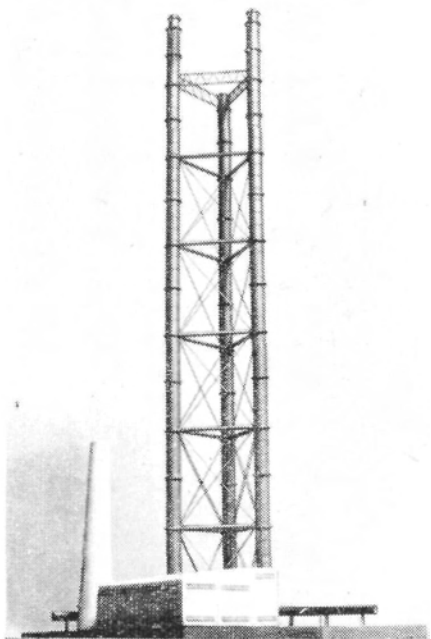


Рис. 62. Вытяжная башня высотой 600 м с расположением газоотводящих стволов в поясах несущей башни, выполненных в виде цилиндрических оболочек (фото с макета)

заканчивается на высоте 540 м от уровня земли. Газоотводящие стволы выступают за пределы поясов еще на 16 м, достигая отметки 600 м. Габарит поясов башни принят из условия возможности размещения в них газоотводящих стволов с системой лестниц и обслуживающих площадок, необходимых для обеспечения требований техники безопасности и эксплуатации сооружения. В целях унификации третий пояс принят тех же размеров. Распорки сооружения используются одновременно для устройства внутри них ходов сообщения между поясом башни с лифтом и поясами с газоотводящими стволами.

Для сооружения таких размеров, учитывая его весьма большую стоимость и техническую сложность возведения, особо важное значение приобретают требования по повышению надежности несущих конструкций. Удовлетворение этих требований

во многом зависит от того, насколько надежно оно противостоит возникновению ветрового резонанса как всего сооружения в целом, так и отдельных его элементов. Особенно это актуально для сооружения, основные рабочие элементы которого имеют круглую форму поперечного сечения. Рассматриваемое сооружение в этом отношении можно считать вполне надежным, поскольку по принятой схеме оно представляет собой жесткую пространственную конструкцию и относится к числу сооружений, называемых аэродинамически устойчивыми. Этот немаловажный фактор является достоинством подобной компоновочной схемы сооружения.

Бесспорно положительным является и то, что в данном случае в наиболее полной мере оказался выполненным принцип концентрации материала. Получившиеся в результате большие расчетные сечения поясов делают весьма логичным размещение в них газоотводящих стволов, лифта и лестниц. Это обстоятельство, в совокупности с уменьшением габаритов сечений предварительно напряженных раскосов за счет использования высокопрочной стали, позволяет также значительно снизить и общую ветровую нагрузку на сооружение. Трехгранная форма башни с параллельными поясами дает возможность отказать от устройства горизонтальных диафрагм жесткости, позволяет максимально унифицировать элементы сооружения и решения узлов, в результате чего облегчаются изготовление и монтаж конструкций.

На характер конструктивных форм вытяжной башни, безусловно, оказали влияние суровые климатические условия района строительства, но тем не менее проведенные экономические расчеты показали, что и для средней полосы страны такая схема сооружения является достаточно эффективной.

Для рассматриваемой вытяжной башни была проведена конструктивная проработка основных несущих элементов и узлов их сопряжений. Вполне естественно, что главные трудности в компоновке сечений и решении узлов были связаны с огромными усилиями, действующими в основных рабочих элементах сооружения. Действительно, в поясах башни расчетное сжимающее усилие превышает 400 МН, изгибающий момент — 1200 МН·м и перерезывающая сила — 50 МН, в раскосах нижнего яруса рабочее усилие превышает 80 МН, в распорках — 70 МН; вырывающее усилие на один пояс башни составляет 250 МН.

Уместно отметить, что при разработке конструкций этого сооружения выявился целый ряд технических проблем, одной из которых является большой разрыв между порядком усилий в элементах конструкций и возможностью увеличения расчетного сопротивления применяемых в строительстве марок стали. Эта проблема была в определенной степени решена за счет применения для сжатых элементов крупноразмерных сечений в виде

ребристых цилиндрических оболочек, а для растянутых — пакетов специальных полос или набора канатов, изготовленных из стали марки 12ГН2МФАЮ с расчетным сопротивлением 450 МПа. Натяжение раскосов осуществляется с помощью специальных «тянущих» балок и набора домкратов с общим толкающим усилием, превышающим на 10% максимальное сжимающее усилие от действия ветра.

Способ закрепления башни в фундаментах предопределен специфическими грунтовыми условиями строительной площадки — наличием скалы со сравнительно небольшой глубиной залегания. Решение основания в данном случае интересно тем, что удачно сочетает в себе простоту исполнения с высокой надежностью работы конструкций.

Фундамент каждого пояса башни состоит из 12 предварительно напряженных железобетонных опорных колонн круглого сечения, объединенных в верхней части кольцевым железобетонным ростверком, а внизу заанкеренных в скалу с помощью кольцевой железобетонной балки (рис. 63). В качестве предварительно напряженной арматуры опорных колонн фундамента приняты специальные пакеты из полосовой высокопрочной стали. Диаметр каждой колонны равен 2 м, что позволяет производить проходку вертикальных скважин с помощью бурильной установки без нарушения структуры скального массива. Такая конструкция фундамента позволяет свести до минимума объем разработки и выемки скального грунта, упрощает производство горных работ и дает существенную экономию стали и бетона.

Монтаж металлоконструкций башни предполагается вести максимально укрупненными элементами с помощью специального самоподъемного агрегата, на котором расположен комплект необходимых монтажных механизмов, а также тепляки и вспомогательные отапливаемые помещения для обеспечения нормальных условий производства строительно-монтажных работ. В процессе монтажа агрегат перемещается по поясам башни с помощью винтовых домкратов, выполняя при этом роль кондуктора, фиксирующего взаимное положение поясов.

Для оценки масштаба сооружения ниже приведены некоторые дополнительные данные, характеризующие рассматриваемую 600-метровую вытяжную башню: суммарная ветровая нагрузка на сооружение 117 МН; максимальное горизонтальное отклонение верха сооружения при действии ураганного ветра 3,7 м; суммарный расход стали на несущие конструкции составляет 22 000, в том числе на пояса — 16000, на распорки и раскосы — по 3000 т.

Конструктивные формы, принятые для этого сооружения, безусловно, не являются единственно возможными. При том же принципиальном компоновочном решении несущая башня может иметь четыре, пять и более граней, правда, в этом случае для

обеспечения неизменяемости системы потребуются горизонтальные диафрагмы жесткости, что связано с дополнительным расходом металла. Схема решетки также может быть различной: сжато-растянутой крестовой с развязкой в центре диафрагмами, полураскосной, ромбической и т. д. Вся система может быть

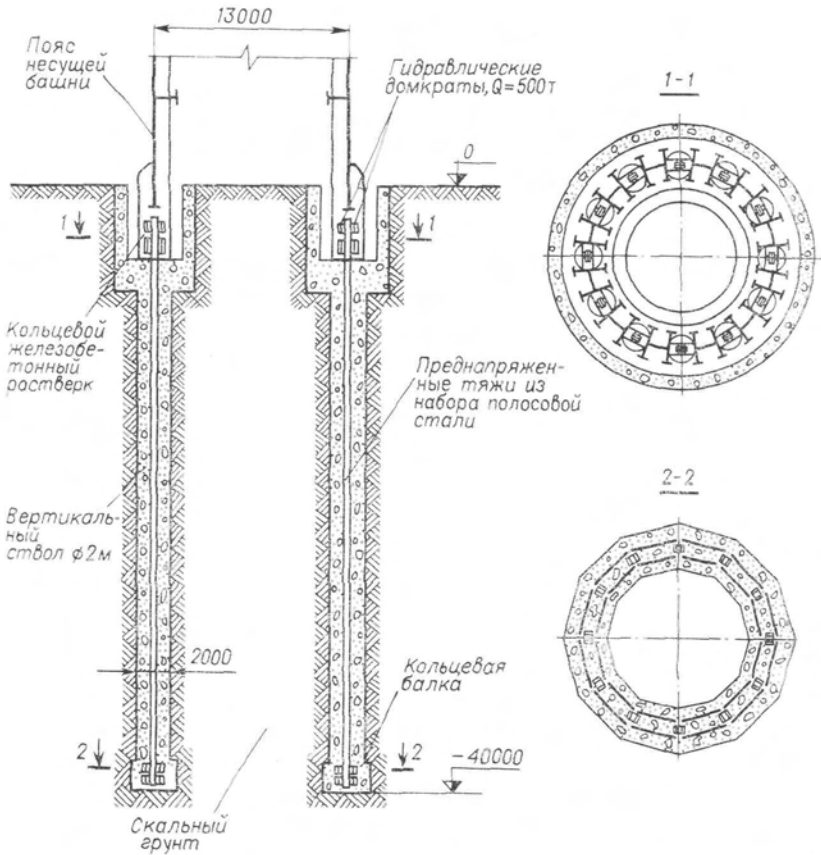


Рис. 63. Принципиальное решение опорного узла пояса башни высотой 600 м

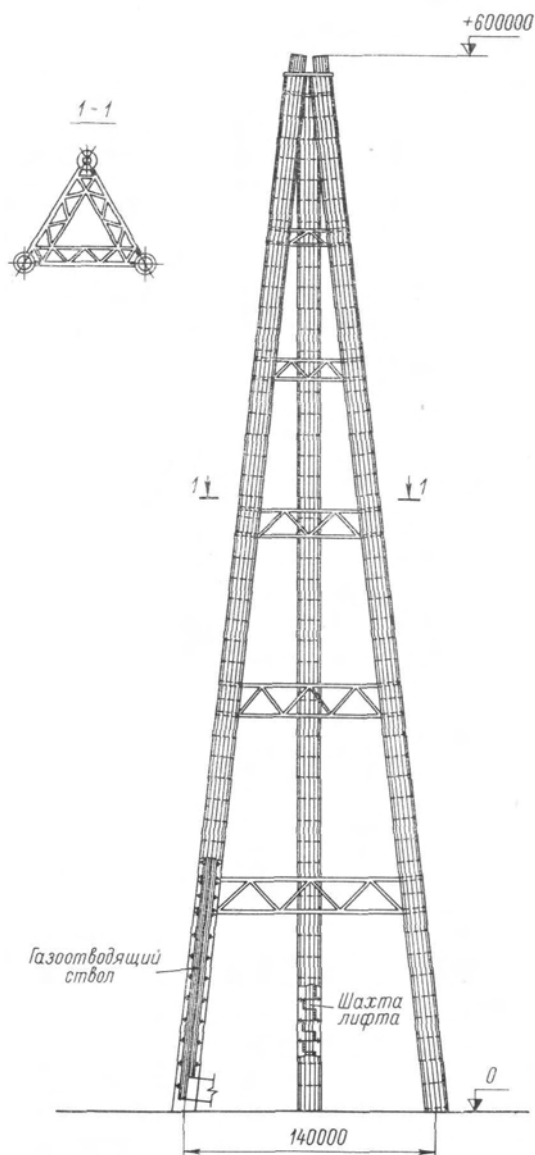
рамной безраскосной либо представлять собой комбинацию перечисленных схем.

Разновидностью рассмотренного решения является вариант, изображенный на рис. 64. Здесь пояса башни имеют наклонное положение, что для газоотводящих стволов вполне допустимо. В принципе допустимо это и для лифта, хотя и связано с некоторыми трудностями конструктивного характера. Этих трудностей можно избежать, если сделать наклонными только

пояса с размещенными внутри них газоотводящими стволами, сохранив для пояса с лифтом вертикальное положение. Такая башня пирамидальной формы является более экономичной по расходу стали и по внешнему виду больше соответствует сооружению башенного типа. Есть в ней и другие положительные качества, однако башня имеет и недостатки. Она сложна для производства строительно - монтажных работ и менее удобна для эксплуатации из-за необходимости устройства наклонных обслуживающих площадок

Заслуживает внимания возможность применения приведенных выше схем для сооружений меньших высот с использованием в этом случае газоотводящих стволов в качестве поясов несущей башни. Такое решение может оказаться весьма целесообразным при использовании специального антикоррозионного покрытия внутренней поверхности пояса или при отводе неагрессивных газов.

Рис. 64. Схема вытяжной башни высотой 600 м с расположением газоотводящих стволов и шахты лифта в наклонных поясах, выполненных в виде цилиндрических оболочек



На рис. 65 представлен еще один вариант решения вытяжной башни по компоновочной схеме с размещением газоотводящих стволов в поясах несущей башни. Этот вариант был

разработан для вытяжной башни высотой 320 м с двумя газоотводящими стволами диаметром 8,4 м для отвода газодымовых смесей ГРЭС, находящейся по ветровым нагрузкам в I географическом районе.

Сооружение состоит из трех отдельно стоящих призматических решетчатых башен, объединенных в общую систему ре-

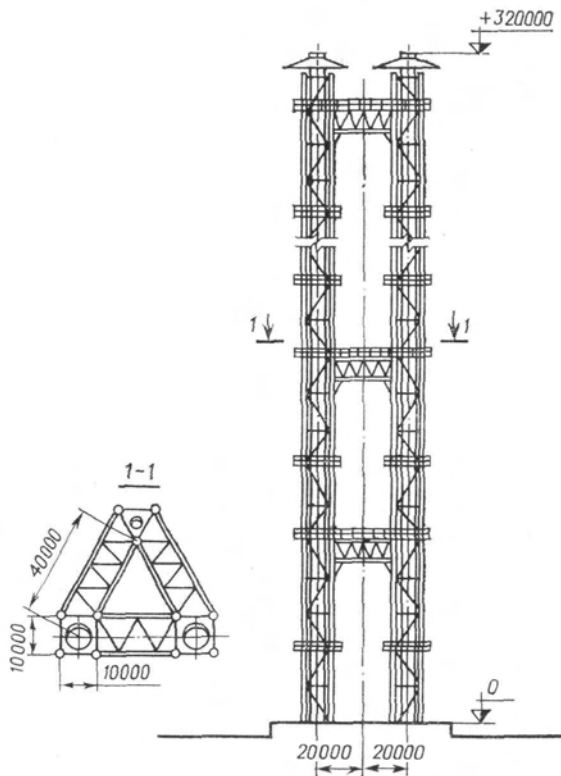


Рис. 65. Схема вытяжной башни высотой 320 м с расположением двух газоотводящих стволов и шахты лифта в решетчатых поясах несущей башни

шетчатыми пространственными ригелями-распорками через каждые 50—70 м. По статической схеме получившаяся система представляет собой многоярусную, пространственную раму с защемленными в основании стойками.

Башни размещены в плане по вершинам равностороннего треугольника со стороной 40 м. Две из них имеют квадратную форму в плане, одна — треугольную. В башнях квадратной формы размещены газоотводящие стволы, в башне треугольной

формы — шахта лифта. Размеры сторон оснований всех башен одинаковы и равны 10 м. Кроме основных ригелей, каждая из трех башен имеет консольные наружные диафрагмы, обеспечивающие пространственную жесткость башен и передачу ветровых нагрузок на раму.

Эта схема принципиально отличается от ранее рассмотренной только конструктивным оформлением стоек с размещенными внутри них газоотводящими стволами и лифтом. Вследствие этого она обладает основными достоинствами такой схемы, рассмотренными выше. Наличие решетчатых пространственных поясов, с одной стороны, приводит к меньшему расходу металла на несущие конструкции и создает лучшие условия для обслуживания газоотводящих стволов и всего сооружения в целом; с другой же стороны, требуется более высокий расход стали на газоотводящие стволы. Расход стали на все сооружение составляет 4765 т, в том числе на несущую башню — 2915 и на газоотводящие стволы и шахту лифта — 1850 т. Для сравнения можно указать, что для этого же сооружения при выполнении поясов башни в виде цилиндрических ребристых оболочек расход стали на башню составит 3800, на газоотводящие стволы — 1100 и на все сооружение — 4900 т, т. е. несколько больше, чем в первом случае. Однако следует учесть, что в первом случае башня выполнена из низколегированной стали, во втором же — из стали Ст.3, поскольку по условиям местной устойчивости стенки выполнение оболочки из стали более высокой прочности экономически нецелесообразно. Совершенно очевидно, что в целях дальнейшего снижения расхода металла на сооружение для варианта с решетчатыми поясами также возможна установка предварительно напряженных раскосов.

В заключение по рассмотренной группе сооружений в целом можно сделать следующие выводы:

1. Компоночная схема сооружения с газоотводящими стволами, расположенными в поясах несущей башни, является весьма перспективной и экономически оправданной для сооружений высотой 300—350 м. По мере возрастания высоты сооружения возрастает и экономическая целесообразность такого решения.

2. Такая компоновочная схема позволяет создать сооружение большой высоты, обладающее высокой степенью надежности, наиболее полно отвечающее требованиям эксплуатации и обеспечивающее максимальную индустриальность изготовления, а также простоту и эффективность монтажа конструкций.

3. Более точную оценку эффективности этого принципиально нового решения многоствольных вытяжных башен большой высоты можно дать только после использования их в рабочих проектах и претворения проектов в жизнь.

Вытяжные башни с газоотводящими стволами внутри несущей башни-трубы. Как уже отмечалось ранее, такая компоновочная схема достаточно широко применяется, однако только для случаев, когда несущая башня-труба выполняется в монолитном железобетоне. По такой схеме, например, возведена вытяжная башня высотой 250 м для ТЭЦ-23 Мосэнерго. Сооружение состоит из четырех стальных газоотводящих стволов диаметром

4,5 и 4,2 м, установленных на общее с монолитной железобетонной трубой основание. Средний диаметр железобетонной трубы 20, высота — 240 м. Газоотводящие стволы раскрепляются внутри трубы специальными скользящими по вертикали упорами в уровне площадок-диафрагм. Площадки установлены с шагом 40 м по высоте и крепятся к стенкам железобетонной трубы специальными тяжами. При ремонте предусматривается подвеска газоотводящих стволов к верхней площадке-диафрагме.

Аналогичной конструкции и той же высоты построена вытяжная башня в Костроме для мощной ГРЭС. Здесь в монолитной железобетонной оболочке размещены четыре стальных газоотводящих ствола диаметром 4,5 м каждый.

Из зарубежных объектов можно упомянуть одну из самых высоких вытяжных башен с железобетонной несущей трубой, построенную для никелевого завода в Коппер-Клиффе (Канада). Высота ее равна 380 м. Сооружение имеет только один стальной газоотводящий ствол диаметром 13,7 м, размещенный внутри железобетонной башни-трубы. В Англии на одной из электростанций построена трехствольная вытяжная башня высотой 260 м, где газоотводящие стволы, выполненные также в монолитном железобетоне, имеют эллиптическое сечение; благодаря этому рационально используется пространство внутри несущей оболочки-трубы.

Вытяжные башни со стальной несущей башней-трубой в настоящее время практически отсутствуют. Круглая форма поперечного сечения, большая гибкость и низкая частота собственных колебаний при малом внутреннем демпфировании вызывают опасность возникновения интенсивных колебаний стальной трубы под действием ветра. В стальных трубах большой высоты для предотвращения возможности появления «ветрового резонанса» необходимо предусматривать специальные мероприятия по борьбе с колебаниями, например, путем использования аэродинамических или механических средств их гашения. Осуществление этих мероприятий, связанное с определенными трудностями конструктивного и эксплуатационного характера, требует зачастую больших дополнительных затрат и все же не дает полной гарантии надежной работы конструкций. Сооружения такого вида, как известно, относятся к числу аэродинамически неустойчивых. По этим причинам свободно стоящие стальные трубы без футеровки не строят высотой более 120 м. При больших высотах оболочку стальной трубы дополнительно укрепляют подкосами или какими-либо другими конструктивными элементами. Но и в этом случае консольный участок трубы испытывает те же отрицательные явления, связанные с автоколебаниями, что и свободно стоящая труба, хотя и несколько в меньшей степени.

Примером проектных решений сооружения с газоотводящими стволами внутри стальной несущей башни-трубы может служить

вытяжная труба, изображенная на рис. 66. Схема данного сооружения представляет собой один из вариантов конструктивного решения рассмотренной ранее вытяжной башни высотой 600 м. По этому варианту несущая башня состоит из вертикального ствола, подкрепленного на отметке 200 м тремя мощными подкосами пространственной конструкции. Несущий ствол башни, выполненный в виде двух конических оболочек с системой вертикальных и горизонтальных ребер, собирается из отдельных панелей заводского изготовления. Диаметр оболочки в верхней части равен 22, в месте примыкания подкосов — 40 м. Газоотводящие стволы и лифт расположены внутри несущего ствола и опираются на площадки-диафрагмы.

Сплошнотенчатая закрытая несущая конструкция улучшает условия эксплуатации сооружения, а также уменьшает ветровую нагрузку за счет снижения аэродинамического коэффициента и уменьшения размера наветренной площади. Сооружение, решенное по такой схеме, обладает достаточно хорошими архитектурными и эстетическими качествами. К недостаткам схемы, помимо ранее отмеченного, можно отнести сложность решения при больших усилиях в узле примыкания подкосов к несущей оболочке ствола башни, а также необходимость устройства

большепролетных обслуживающих площадок-диафрагм. Кроме того, большой диаметр несущего ствола башни усложняет обеспечение местной устойчивости оболочки и приводит к дополнительному расходу материала. Общий расход стали на сооружение составляет 25 000 т, что более чем на 10% превышает расход стали при решении сооружения по схеме с газоотводящими стволами в поясах несущей башни.

Можно еще отметить, что переменный по высоте диаметр несущего ствола башни-трубы существенно повышает трудоемкость изготовления конструкций сооружения и делает достаточно сложной организацию работ по их монтажу. При меньшей

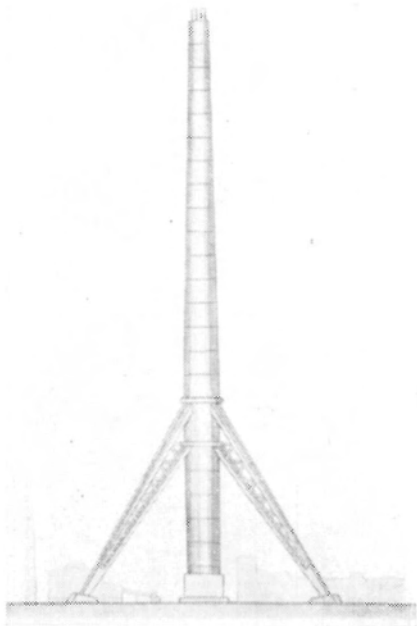


Рис. 66. Общий вид вытяжной башни высотой 600 м с расположением газоотводящих стволов в трубе-оболочке с подкосами

высоте вытяжной башни несущий ствол ее может иметь и цилиндрическую форму. Сооружение такого вида изображено на рис. 67. Это вытяжная башня высотой 320 м, разработанная на стадии технического проекта для одной из ГРЭС. Здесь цилиндрический несущий ствол башни-трубы, в котором размещены два газоотводящих ствола и шахта лифта, имеет диаметр 22 м. Он раскреплен на отметке 115 м тремя подкосами из труб диамет-

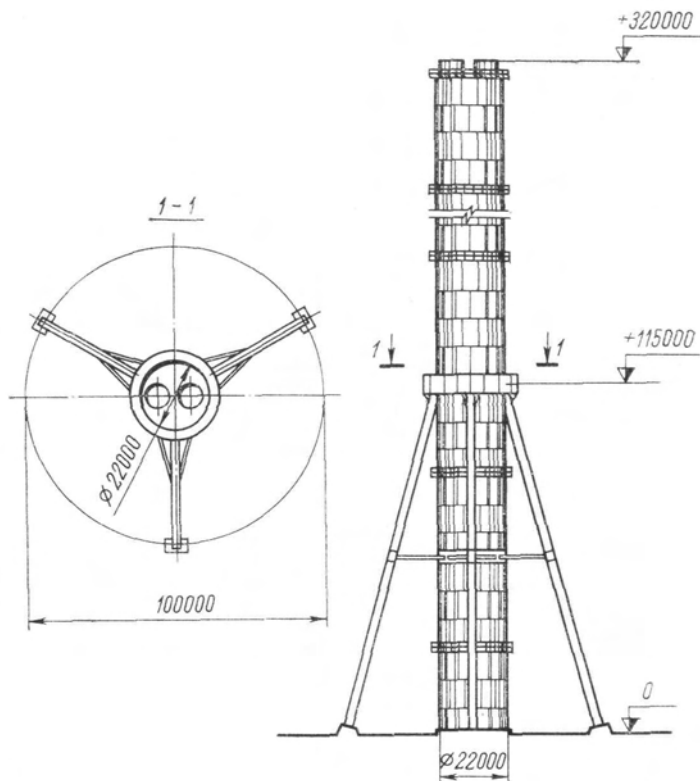


Рис. 67. Схема вытяжной башни высотой 320 м с расположением двух газоотводящих стволов в цилиндрической трубе-оболочке

ром 3,2 м. Подкосы располагаются в плане под углом 120° и проекция каждого из них на уровне земли составляет 50 м.

Газоотводящие стволы подвешиваются к диафрагмам несущей оболочки башни через каждые 30—40 м с устройством необходимого количества температурных компенсаторов. Это позволило снизить толщину стенок газоотводящих стволов до 6—8 мм при диаметре 8,4 м. В уровне диафрагм башни имеются наружные кольцевые площадки, используемые для устройства светового ограждения, осмотра и окраски сооружения. Общий расход стали составляет 5400 т, из них на несущую башню 4300.

Аналогичную схему решения несущих конструкций имеет вытяжная башня высотой 420 м, проектируемая для Норильского горнометаллургического комбината. Центральный цилиндрический ствол ее, имеющий диаметр 18,5 м, подперт на отметке 150 м шестью подкосами диаметром 3,2 м. В основании подкосы разнесены по окружности радиуса 80 м и до отметки 75 м развязаны между собой распорками и крестовыми связями.

Интересные инженерные решения несущих конструкций имеет вытяжная башня, изображенная на рис. 68*. В этом сооружении газоотводящие стволы и шахта лифта размещаются также внутри вертикального цилиндрического несущего ствола большого диаметра, однако конструктивные решения сооружения в целом имеют принципиальные отличия от ранее рассмотренных. Здесь ствол в горизонтальном направлении раскрепляется только двумя длинными подкосами, развязанными с несущим стволом и между собой системой распорок и связей. Подкосы расположены таким образом, что проекции их в плане составляют между собой угол 60° . Получившаяся система напоминает трехгранную башню пирамидальной формы, в которой одна стойка вертикальна и имеет по сравнению с двумя другими значительно большие размеры как по сечению, так и по высоте.

В отличие от ранее рассмотренных схем такое сооружение аэродинамически устойчиво, и это является существенным его достоинством. Кроме того, здесь более четкая схема работы конструкций, а включение основного вертикального ствола в работу системы как пояса трехгранной башни позволяет получить определенное снижение расхода стали. Недостатком схемы является наличие большого количества разнотипных элементов большой длины.

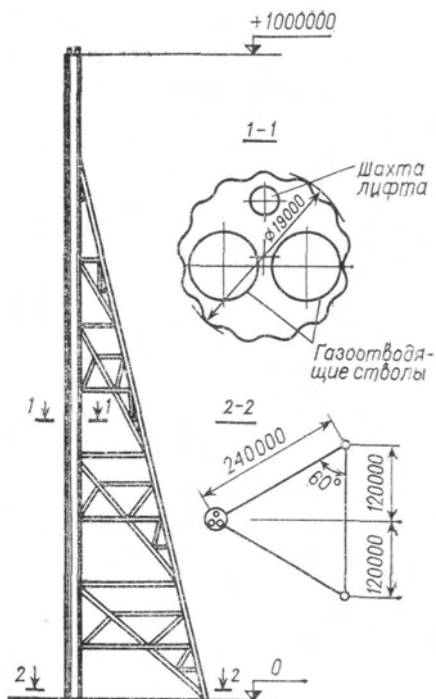


Рис. 68. Принципиальная схема вытяжной башни высотой 1000 м с расположением газоотводящих стволов в гофрированной трубе-оболочке

По иному конструктивно решена в этом сооружении и оболочка вертикального ствола. Местная устойчивость обеспечивается не системой ребер, а созданием по всему периметру продольных гофров цилиндрической формы (см. рис. 68). Получившаяся оболочка с вертикальными гофрами имеет более длинную развертку и несколько увеличивает ветровую нагрузку на сооружение за счет увеличения аэродинамического сопротивления ветровому потоку, однако существенно повышает предельные напряжения в оболочке за счет резкого увеличения ее кривизны и в целом дает возможность получить более экономичную конструкцию. Гофрированную оболочку можно рекомендовать и для других схем вытяжных башен, где гладкая цилиндрическая оболочка с точки зрения обеспечения местной устойчивости оказывается более металлоемкой.

Конструктивные решения и схема рассмотренного сооружения в целом, хотя и требуют определенного совершенствования, вполне приемлемы для многоствольных вытяжных башен больших и сверхбольших высот, поскольку позволяют сделать сооружение надежным и достаточно экономичным. Что же касается остальных рассмотренных схем стальных вытяжных башен этой группы, то по условиям опасности возникновения «ветрового резонанса» применять их для сооружений больших высот следует с особой осторожностью.

§ 3. Некоторые вопросы, связанные с перспективами строительства вытяжных башен большой высоты

Наметившаяся в последние годы при строительстве вытяжных башен тенденция к увеличению их высоты поставила перед строителями целый ряд вопросов, разрешение которых диктуется необходимостью удовлетворения возникших потребностей в этих сооружениях.

К числу наиболее существенных и важных, в первую очередь, следует отнести вопросы выявления оптимальных параметров вытяжных устройств. Важность этой задачи заключается прежде всего в том, что с возрастанием высоты сооружения резко возрастает его стоимость: только капитальные затраты по возведению вытяжной башни высотой 600 м оцениваются ориентировочно в 50 млн. руб. Высокую стоимость имеют и сооружения высотой 300—400 м. Для предотвращения возможного завышения размеров вытяжных башен при обосновании их высоты в каждом конкретном случае необходимо учитывать все без исключения факторы, оказывающие влияние на принятие исходных параметров вытяжных устройств. Последние зависят от состава и степени агрессивности отводимых газов, от технических средств по созданию требуемого напора в газоотводящих стволах, от географических и природно-климатических условий района

строительства, от возможностей размещения вытяжных башен на генеральном плане застройки объекта.

В свою очередь, состав и агрессивность отводимых газов находится в определенной зависимости от условий их предварительной очистки, т. е. от типа и качества используемых для этих целей очистных сооружений. Наконец, принимаемые параметры вытяжных устройств, естественно, зависят и от точности выполнения расчетов по проверке удовлетворения требований санитарно-гигиенических норм в отношении предельно допустимых концентраций вредных веществ на уровне земли в зоне действия вытяжного устройства.

Для решения задач по оптимизации размеров вытяжных башен, видимо, целесообразно уточнить предусмотренную санитарно-гигиеническими нормами градацию предельно допустимых концентраций вредных веществ на уровне земли, совершенствовать теорию рассеивания вредных примесей в отводимых в верхние слои атмосферы газах и на основании их уточнить методику определения концентрации вредных веществ при различном удалении от вытяжного устройства. Принятию решения по определению параметров вытяжных устройств должно предшествовать выполнение технико-экономических расчетов различных вариантов, предусматривающих разные способы очистки газов и величины создаваемого в газоотводящих стволах напора. При этом должны быть учтены капитальные затраты к эксплуатационные расходы на собственно вытяжную башню, на очистные сооружения и средства нейтрализации отводимых газов, на вентиляционные устройства по созданию напора в газоотводящих стволах. Для каждого конкретного объекта, естественно, должен приниматься вариант с наилучшими технико-экономическими и санитарно-гигиеническими показателями.

Следующий вопрос связан с уточнением характера воздействия на вытяжную башню ветровой нагрузки. Несмотря на наличие по данному вопросу большого количества специальной литературы и нормативных документов, в настоящее время нет еще полной ясности о фактически действующих скоростных напорах ветра на больших высотах, отсутствуют данные по коэффициентам лобового сопротивления как отдельных цилиндрических оболочек большого диаметра (при $Re \geq 10^7$), так и сооружения в целом при различных компоновочных схемах его решения, нет полных данных о динамических характеристиках сооружения и, в частности, о декременте колебаний и т. д.

Это обстоятельство вносит определенные трудности в разработку конструкций вытяжных башен и, естественно, не может не отражаться на оптимальности их решения. Задача может быть решена путем расширения объема экспериментальных исследований как по проведению натурных испытаний для определения фактических характеристик ветровой нагрузки и динамических характеристик сооружения в целом, так и

лабораторных испытаний по продувке соответствующих моделей в аэродинамических трубах.

При строительстве вытяжных башен большой высоты серьезную проблему составляют вопросы монтажа. В настоящее время наиболее распространенными способами монтажа несущих конструкций вытяжных башен можно считать следующие.

1) Нарастивание укрупненными пространственными блоками с использованием гусеничных монтажных кранов для башен небольшой высоты.

2) Сборка всей башни, включая газоотводящий ствол, в горизонтальном положении с последующим подъемом путем поворота вокруг опорного шарнира. При этом собранное сооружение можно поднимать либо обычными монтажными кранами с последующим дотягиванием полиспастом, либо с помощью специальной падающей стрелы.

3) Нарастивание нижней части башни укрупненными блоками до отметки, определяемой возможностями монтажных кранов, и подъем ползучим порталным подъемником верхней части башни и газоотводящего ствола по возможности также укрупненными блоками. Если жесткость газоотводящего ствола оказывается достаточно высокой, монтаж верхней части башни в этом случае может осуществляться также закрепленным на газоотводящем стволе полноповоротным краном.

Перечисленные способы монтажа используются для возведения наиболее распространенных в настоящее время вытяжных башен высотой до 150 м. Сооружения большей высоты, с точки зрения монтажа, можно отнести уже к разряду уникальных, требующих специальной разработки индивидуальных способов производства работ для их возведения. В этих условиях возможности монтажа зачастую оказывают решающее влияние на выбор схемы несущих конструкций, и чем выше сооружение, тем это влияние значительнее. В практике имели место случаи, когда от принятой, казалось бы, удачной схемы сооружения приходилось отказываться лишь потому, что осуществление ее или чрезвычайно трудоемко и сложно, или даже просто невозможно. Все это лишний раз подчеркивает, что разработку конструкций вытяжных башен необходимо производить одновременно с решением вопросов монтажа и в полной с ними увязке. Исходя именно из этих условий следует оценивать все принимаемые технические решения.

Существенному повышению надежности и экономичности вытяжных башен большой высоты может послужить дальнейшее расширение исследований, связанных с антикоррозионной защитой металлоконструкций вытяжных башен. Это относится, в первую очередь, к газоотводящим стволам, поскольку их стенки находятся в постоянном и непосредственном контакте с агрессивными компонентами отводимых газов. Имеющийся опыт эксплуатации вытяжных башен показывает, что применяемые для антикоррозионных покрытий материалы не всегда достаточно эффективны и порой очень быстро выходят из строя. Объясняется это главным образом тем, что в процессе работы предприятия происходят существенные изменения в составе газов, не учитываемые в принятых для разработки проекта исходных

данных. Эту задачу можно решить путем создания универсальных антикоррозионных материалов, которые были бы достаточно стойкими для отводимых газов разного состава. Кроме того, необходимо расширить область применения для газоотводящих стволов новых эффективных материалов, стойких к агрессивной среде без специального антикоррозионного покрытия. Имеют большое значение и вопросы защиты основных несущих конструкций башни. Эти конструкции находятся на открытом воздухе в условиях действующих предприятий, выделяющих агрессивные отходы производства, которые в той или иной степени неизбежно присутствуют в окружающей сооружение среде. Здесь следует иметь в виду, что работы по окраске конструкции башни весьма трудоемки и дороги, поэтому применение более стойких покрытий, даже при условии значительно более высокой их первоначальной стоимости, может оказаться экономически оправданным.

Немаловажной задачей является и обобщение опыта эксплуатации вытяжных башен. Изучение фактических режимов работы предприятий различных отраслей промышленности и в связи с этим уточнение состава и условий выброса отводимых газов, исследование состояния несущих конструкций башен и газоотводящих стволов, а также определение возможностей и условий осмотра, ремонта и окраски их позволит выявить наиболее часто встречающиеся виды дефектов металлоконструкций вытяжных башен, установить причины и условия их возникновения и определить характер основных трудностей, возникающих при эксплуатации сооружения. Это в свою очередь даст возможность при разработке проектов вытяжных башен принимать более точные исходные данные для проектирования и по мере возможности избегать недостатков, которые имели место в построенных сооружениях.

Следует несколько затронуть вопрос унификации и типизации конструкций. Количество типоразмеров возведенных в настоящее время вытяжных башен чрезвычайно велико. Например, только Ленинградским отделением ЦНИИ «Проектстальконструкция» за последние 10 лет было выполнено около 200 индивидуальных проектов.

Вытяжные башни, предназначенные для отвода вредных выделений в верхние слои атмосферы, используются, как известно, в различных отраслях промышленного производства. Это вносит определенные трудности в разработку единых технологических требований к проектированию и существованию тормозит решение вопросов, связанных с унификацией и типизацией конструкций. Первые шаги в этом направлении были сделаны только в 1973 г., когда были составлены предложения по унификации размеров газоотводящих стволов, разработанных по аналогии и в полном соответствии с унифицированными размерами стальных дымовых труб [56]. Тогда же была начата работа по составлению

первого типового проекта вытяжных башен с ограниченным количеством унифицированных типоразмеров. Вполне очевидно, что проводимая работа по дальнейшей унификации не только газоотводящих стволов, но и основных конструктивных решений вытяжных башен, а также разработка типовых проектов таких сооружений в более широком диапазоне высот и единых для всех отраслей промышленности позволит резко снизить трудозатраты на строительство вытяжных башен и даст существенный экономический эффект.

Особым вопросом в решении конструкций вытяжных башен, в случае возведения их в районах с расчетной температурой наружного воздуха ниже -40°C , является удовлетворение специальных требований по предотвращению хрупкого разрушения конструкций. Для рассматриваемого вида сооружений суровые климатические условия сказываются особенно остро. Вот почему при выборе схемы и материала несущих конструкций, а также при разработке конструктивных решений сооружения необходимо особенно тщательно анализировать принимаемые решения с тем, чтобы по возможности в максимальной степени снизить опасность хрупкого разрушения конструкций. Особое внимание должно быть уделено монтажным стыкам, поскольку северная климатическая зона, как правило, имеет длинный зимний период с сильными ветрами, когда производство строительного-монтажных работ особенно затруднено.

Заканчивая рассмотрение вопросов, связанных с дальнейшим развитием и расширением объема строительства вытяжных башен большой высоты, следует указать, что в последние годы появился новый тип подобного сооружения, получивший наименование воздухозаборной башни. Общие компоновочные и конструктивные решения такого сооружения принимаются аналогичными вытяжным башням, однако назначение его диаметрально противоположное. Как показывает само наименование, воздухозаборная башня предназначена для забора из верхних слоев атмосферы чистого воздуха, необходимого для нормальной организации технологического процесса производства. В связи с увеличением общей загрязненности воздуха непосредственно над промышленными предприятиями и крупными населенными пунктами в будущем, вероятно, подобный тип сооружений будет использоваться для создания микроклимата в специальных производственных предприятиях, а также в целях улучшения условий труда и быта трудящихся.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абаринов А. А., Козьмин Н. Б., Кузнецов Н. Ф. Особенности работы и расчета ферм из труб.— «Промышленное строительство», 1970, № 6.
2. Амиро И. Я. Исследование устойчивости ребристой цилиндрической оболочки при продольном сжатии.— «Прикладная механика», 1960, т. VI, вып. 3.
3. Балалаев Г. А., Медведев В. М., Мощанский Н. А. Защита строительных конструкций от коррозии. М., Стройиздат, 1966.
4. Берендсен В. Размещение промышленных предприятий.— «Промышленное строительство», 1965, № 5 [Пер. с нем.].
5. Бирюлин А. П. Аэродинамические характеристики решетчатых ферм.— В сб.: «Исследования крановых металлоконструкций (ветровые нагрузки)». «Труды ВНИИ ПТМаш», 1964, вып. 11 (53).
6. Броуде Б. М. Практические методы расчета тонких оболочек на устойчивость.— В сб.: «Исследования по стальным конструкциям». М., Госстройиздат, 1962.
7. Вейнблат Б. М. Высокопрочные болты в конструкциях мостов. М., «Транспорт», 1971.
8. Вишнеvский М. Я. Усовершенствование алюминиевых труб для сероулавливающих установок.— «Промышленное строительство», 1965, № 11.
9. Волянцев В. А., Андриешин П. А., Чернов А. В. Железобетонные дымовые трубы. Проектирование и возведение. М., Госстройиздат, 1950.
10. Вольмир А. С. Устойчивость деформируемых систем. М., «Наука», 1967.
11. Воробьев В. М. Требования, предъявляемые к проектным организациям, по обеспечению технологичности конструкций. Мат-лы совещ. «Современное состояние и перспективы развития возведения каркасов промышленных зданий и сооружений с применением эффективных металлоконструкций». М., Стройиздат, 1967.
12. Воробьева Г. Я. Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств. М., «Химия», 1967.
13. Гонселес-Уберти О. К вопросу развития несущих конструкций высотных зданий. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. М., 1972. (Ун-т Дружбы народов им. П. Лумумбы).
14. Дороганов А. М. Технический прогресс в возведении высотных железобетонных сооружений.— «Монтажные и специальные работы в строительстве», 1967, № 10.
15. Дятлова В. Н. Коррозионная стойкость металлов и сплавов. Справочник. М., «Машиностроение», 1964.
16. Евсевич К. М. За чистоту атмосферного воздуха. Минск, 1969.
17. Жданович Ю. В. К проблеме защиты воздушного бассейна от загрязнения производственными выбросами.— «Промышленное строительство», 1972, № 12.
18. Жук Н. П. Курс коррозии и защиты металлов. М., «Металлургия», 1968.

19. Кабанов В. В. Устойчивость анизотропной круговой цилиндрической оболочки при сжатии и внутреннем давлении.—«Изв. высш. учеб. заведений. Авиац. техн.», 1967, № 1.
20. Кеймах Л. И., Волынец В. А. Строительство высотных железобетонных сооружений. М., Госстройиздат, 1962.
21. Когляр Е. Ф. Стальные трубчатые конструкции в строительстве за рубежом (обзор). М., 1968. (ЦИНИС Госстроя СССР).
22. Красноперов Е. В. Экспериментальная аэродинамика. Ч. I. М., «Транспечать» НКПС, 1930. Ч. II. Л.-М., НКТП СССР, 1935.
23. Кузнецова М. В. Некоторые вопросы статического расчета башенных сооружений (вентиляционные трубы). «Перечень описаний, изобретений, рационализаторских предложений и передового опыта в строительстве». Л., ЛДНТП, 1958.
24. Кузнецова М. В. Некоторые результаты аэродинамических исследований моделей вытяжных башен.—«Проектирование металлических конструкций». Инф. реф. сб. ЦИНИС Госстроя СССР. Сер. VII, вып. 9 (17), 1969.
25. Кузнецова М. В. Определение массы конструкций вытяжной башни по номограмме.—«Промышленное строительство», 1970, № 2.
26. Кузнецова М. В., Санникова Н. Л. К расчету фланцевых соединений.—«Промышленное строительство и инженерные сооружения», 1971, № 1.
27. Кузнецова М. В., Санникова Н. Л. Некоторые вопросы фактической работы конструкций вытяжных башен.—В сб.: «Исследования по строительным конструкциям». Л., 1972. (ЛИСИ).
28. Курносое В. Н. Качественная и количественная характеристика атмосферных загрязнений и эффективность очистных сооружений в США.—В кн.: «Гигиена атмосферного воздуха, воды и почвы». Вып. 2. М., 1961.
29. Левитанский И. В. Решетчатые конструкции из труб.—В сб.: «Облегченные несущие металлические конструкции». М., Госстройиздат, 1963.
30. Лессиг Е. Н., Лилеев А. Ф., Соколов А. Г. Листовые металлические конструкции. М., Стройиздат, 1970.
31. Лихтарников Я. М. Металлические конструкции. Методы технико-экономического анализа при проектировании. М., Стройиздат, 1968.
32. Макквиллэн А. Д., Макквиллэн М. К. Титан. М., Изд-во лит. по черн. и цветн. металлург., 1958.
33. Мельников Н. П. Проблемы экономии стали в стальных конструкциях промышленных зданий, сооружений и мостов. Мат-лы по стальным констр. Вып. 2. М., 1958. (Проектстальконструкция).
34. Мельников Н. П., Зелятров В. Н. Выбор сталей для строительных металлических конструкций. М., Стройиздат, 1967.
35. Мельников Н. П. Развитие металлических конструкций. М., Стройиздат, 1965.
36. Мельников Н. П. Антенные сооружения. М., «Знание», 1969.
37. Мельников Н. П. Вопросы развития металлических конструкций в текущей пятилетке.—«Промышленное строительство», 1971, № 4, 7.
38. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений. М., «Наука», 1971.
39. Морозов Е. П. Типовые конструкции башен радиорелейных линий. Реф. сб. «Проектирование металлических конструкций». Сер. VII, вып. 4 (36), ЦИНИС, СоюзметаллостройНИИпроект Госстроя СССР, 1972.
40. Намек Д. Федеральный закон об охране окружающей среды и его влияние на подготовку гражданских инженеров.—«Гражданское строительство», 1973, № 3 [Пер. с англ.].
41. Никиреев В. М., Шадурский В. Л. Практические методы расчета оболочек. М., Стройиздат, 1966.
42. Николаев А. Ф. Синтетические полимеры и пластические массы на их основе. М.-Л., «Химия», 1966.
43. Попов С. А. Алюминиевые строительные конструкции. М., «Высшая школа», 1969.
44. Прокопович И. Е., Слезингер И. Н., Штейнберг М. В. Расчет цилиндрических оболочек. Киев, «Будівельник», 1967.

45. Рабинович И. М. Курс строительной механики стержневых систем. Ч. II. М., Госстройиздат, 1954.
46. Ривлин Ю. И., Коротков М. А., Чернобыльский В. Н. Металлы и их заменители. М., «Металлургия», 1973.
47. Савицкий Г. А. Ветровая нагрузка на сооружения. М., Стройиздат, 1972.
48. Сидоренко Г. И. Воздух, которым мы дышим.—«Здоровье», 1969, № 5.
49. Соколов А. Г. Действительная работа и расчет фланцевых соединений. Мат-лы по стальным констр. Вып. I. 1957. (Проектстальконструкция).
50. Соколов А. Г. Пути экономии стали в стальных конструкциях башенного и мачтового типа.— В сб.: «Экономия металла при применении стальных конструкций». М., Госстройиздат, 1958.
51. Соколов А. Г. Опоры линий передач (расчет и конструирование). М., Госстройиздат, 1961.
52. Соколов А. Г. Законы веса башен.—«Труды Ун-та Дружбы народов им. П. Лумумбы», 1968, т. 34, вып. 5.
53. Соколов А. Г. Металлические конструкции антенных устройств. М., Госстройиздат, 1961.
54. Солодарь М. Б. Металлические конструкции некоторых видов специальных сооружений промышленного назначения. Мат-лы совещ. «Современное состояние и перспективы развития возведения каркасов промышленных зданий и сооружений с применением эффективных металлоконструкций». М., Стройиздат, 1967.
55. Солодарь М. Б. Вытяжные трубы для выброса агрессивных газов.—«Промышленное строительство», 1969, № 1.
56. Солодарь М. Б., Плишкин Ю. С., Кузнецова М. В. Об унификации размеров стальных вытяжных башен.—«Промышленное строительство», 1973, № 10.
57. Стрелецкий Н. С. и др. Металлические конструкции. М., Госстройиздат, 1961.
58. Стрелецкий Н. С., Стрелецкий Д. Н. Проектирование и изготовление экономичных металлических конструкций. М., Стройиздат, 1964.
59. Тарнопольский А. А. и др. Прочность узлов высоких башен из труб.—«Промышленное строительство», 1971, № 10.
60. Тон Дж. Основные направления в развитии электроэнергетики США.—«Гражданское строительство», 1967, № 9. [Пер. с англ.].
61. Чернина В. С. Статика тонкостенных оболочек вращения. М., «Наука», 1969.
62. Шаров В. Защита от коррозии высотных сооружений, эксплуатируемых в агрессивных газах.—«Промышленное строительство и инженерные сооружения», 1972, № 6.
63. Шварц Г. Л., Макарова Л. С., Акшенцова А. П. Таблицы коррозионной стойкости титана и его сплавов в различных агрессивных средах. М., 1961 (НИИХиммаш).
64. Шляфирнер А. М. и др. Долговечность металлических конструкций высотных сооружений в промышленном городе.—«Промышленное строительство», 1972, № 12.
65. Щедров К. П., Гакман Э. Л. Жаростойкие материалы. Справочное пособие. М.-Л., «Машиностроение», 1965.
66. Алюминий. Металловедение, обработка и применение алюминиевых сплавов. М., «Металлургия», 1972. [Пер. с англ.].
67. Влияние загрязнения воздуха на погоду.—«Гражданское строительство», 1970, № 2. [Пер. с англ.].
68. ГОСТ 1451—65. Краны подъемные. Нагрузка ветровая. М., Изд-во стандартов, 1965.
69. ГОСТ 13994—68. Краны башенные строительные. Нормы расчета. М., Изд-во стандартов, 1968.
70. «Гражданское строительство», 1966, № 10. [Пер. с англ.].
71. Дымовая труба высотой 200 м (зарубежная информация).—«Монтажные и специальные работы в строительстве», 1965, № 11.

72. **Дымовая труба** специальной конструкции для электростанции.— «Промышленное строительство», 1970, № 8 [Пер. с нем.].
73. **Дымовые трубы** для отвода агрессивных газов (Югославия).— «Промышленное строительство и инженерные сооружения», 1970, № 5.
74. **Загрязнение** внешней среды. Науч. исслед. Сер. техн. докл. ВОЗ, № 406. Женева, 1970.
75. **Закон** о борьбе с загрязнением воздуха.— «Гражданское строительство», 1968, № 1 [Пер. с англ.].
76. **Инструкция** по проектированию и устройству противокоррозионной защиты вытяжных труб предприятий с агрессивными средами. СН 163—61. Госстройиздат, 1961.
77. **Методические рекомендации** по технико-экономической оценке проектных решений промышленных зданий и сооружений. М., 1971. (НИИЭС Госстроя СССР).
78. **Национальные программы** оздоровления внешней среды: их планирование и проведение. Сер. техн. докл. ВОЗ, № 439. Женева, 1972.
79. **Новости АОГИ.** Ежегодн. конф. АОГИ. Разд. «Проектирование и строительство энергетических объектов. Бетонные дымовые трубы ТЭС».— «Гражданское строительство», 1968, № 6, 11. [Пер. с англ.].
80. **Проблемы** борьбы с загрязнением окружающей среды.— «Гражданское строительство», 1971, № 8 [Пер. с англ.].
81. **Рекомендации** по защите от коррозии стальных и железобетонных строительных конструкций лакокрасочными покрытиями. М., Стройиздат, 1973.
82. **Рекордно** высокая пластиковая дымовая труба.— «Гражданское строительство», 1972, № 7 [Пер. с англ.].
83. **Санитарные нормы** проектирования промышленных предприятий. СН 245—71. М., Стройиздат, 1972.
84. **Сборная крупноблочная железобетонная труба** (зарубежная информация).— «Монтажные и специальные работы в строительстве», 1966, № 3.
85. **Снижение** загрязненности воздуха в Лондоне.— «Гражданское строительство», 1968, № 10 [Пер. с англ.].
86. **СНиП II-A. 4—62.** Единая модульная система. Основные положения проектирования. М., Госстройиздат, 1964.
87. **СНиП II-A. 6—72.** Строительная климатология и геофизика. М., Стройиздат, 1973.
88. **СНиП II-A. 10—71.** Строительные конструкции и основания. Основные положения проектирования. М., Стройиздат, 1972.
89. **СНиП II-6—74.** Нагрузки и воздействия. М., Стройиздат, 1974.
90. **СНиП II-A. 12—69.** Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования. М., Стройиздат, 1970.
91. **СНиП II-B. 3—72.** Стальные конструкции. Нормы проектирования. М., Стройиздат, 1974.
92. **СНиП II-28—73.** Защита строительных конструкций от коррозии. М., Стройиздат, 1974.
93. **Современное состояние** природной среды (биосферы) на территории Европы и пути ее сохранения и улучшения. Вильнюс, 1972. (АН СССР. Институт географии).
94. **Справочник** по динамике сооружений. Под ред. Б. Г. Коренева, И. М. Рабиновича. М., Стройиздат, 1972.
95. **Сталь** качественная и высококачественная. М., Изд-во стандартов, 1969.
96. **Сталь** углеродистая обыкновенного качества и низколегированная. М., Изд-во стандартов, 1973.
97. **Стальные конструкции.** Справочник конструктора. Под ред. Н. П. Мельникова. М., Стройиздат, 1973.
98. **Статический** и динамический расчет многоэтажных рам (СИДР-11).— Отраслевой фонд алгоритмов для ЭВМ «Минск-22». Вып. 1—100. М., 1969. (Гипротис).
99. **Строительство** высоких дымовых труб промышленных предприятий.— «Промышленное строительство», 1972, № 4 [Пер. с нем.].

100. **Указания** по проектированию металлических конструкций антенных сооружений объектов средств связи. СН 376—67. М., Стройиздат, 1968.
101. **Указания** по расчету на ветровую нагрузку технологического оборудования колонного типа и открытых этажерок. М., Стройиздат, 1965. (ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко).
102. **Указания** по расчету рассеивания в атмосфере вредных веществ (пыли и сернистого газа), содержащихся в выбросах промышленных предприятий. СН 369—67. М., Стройиздат, 1968.
103. **DIN 1058.** Дымовые трубы, подверженные кислотной агрессии. Указания по проектированию и строительству. (ФРГ).
104. **Патент ФРГ**, № 1814329, класс E04h (МКИ).
105. **Würz F.** Aktuelle Probleme der Gleitbauweise. Gleischalung für hohe konische Stahlbetonschornsteine.—“Der Bauingenieur”, 1969, N 4.
106. **Riese W.** Der Schornstein in Stade.—“Der Stahlbau”, 1965, N 3.
107. **Ritter F.** Korrosionstabellen metallischer Werkstoffe. Wien, 1952.
108. **Third A. D.** The Air of Chimney Desing.—“Engineering and Boiler House Review”, 1967, vol. 82, N 5.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие	3
Глава I. Общая характеристика вытяжных сооружений	6
Глава II. Конструкции вытяжных башен	16
§ 1. Схемы сооружений	28
§ 2. Основные конструктивные решения несущей башни	28
§ 3. Решения узлов газоотводящего ствола	53
§ 4. Материалы	65
§ 5. Техничко-экономическая оценка и вопросы типизации	79
Глава III. Нагрузки	87
§ 1. Состав и сочетания нагрузок, действующих на вытяжные башни	87
§ 2. Методика определения веса конструкций	92
§ 3. Ветровые нагрузки	98
§ 4. Снеговые нагрузки и температурные воздействия	116
Глава IV. Основные положения расчета	118
§ 1. Расчет несущей башни	119
§ 2. Расчет газоотводящего ствола	123
§ 3. Пример расчета	130
Глава V. Перспективы развития конструкций вытяжных башен	143
§ 1. Основные направления компоновочных решений	143
§ 2. Основные направления развития конструктивных форм вытяжных башен	146
§ 3. Некоторые вопросы, связанные с перспективами строительства вытяжных башен большой высоты	172
Список литературы	177

**ВНИМАНИЮ
СПЕЦИАЛИСТОВ ПРОЕКТНЫХ И СТРОИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ**

Ленинградское отделение Стройиздата выпускает в 1976 году:

АРТЕМЬЕВА И. Н. АЛЮМИНИЕВЫЕ КОНСТРУКЦИИ.

В книге приведены сведения по физическим, химическим и технологическим свойствам упрочненного алюминия. Изложены особенности проектирования, изготовления полуфабрикатов и заготовок из алюминия, способы их соединения, применение алюминиевых конструкций в строительстве.

Объем книги 12 л. с ил. Ориентировочная цена 70 к

ГОРЕНШТЕИН Б. В. ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ПОКРЫТИЯ.

В книге изложены методика выбора и принципы компоновки сборных и сборно-монолитных пространственных конструкций покрытий. Приведены сведения о выборе генеральных размеров, расчете и конструировании наиболее распространенных видов покрытий. Даны примеры расчета оболочек, рекомендации по промышленным методам изготовления и монтажа конструкции.

Объем книги 10 л. с ил. Ориентировочная цена 60 к

Т о в а р и щ и !

Книги Стройиздата можно заказать заранее до выхода в свет. Это гарантирует своевременное их получение, экономит время и оказывает помощь издательству в правильном определении тиража.

Иногородние заказчики получают книги по выходе в свет наложенным платежом.

Предварительные заказы принимают все магазины местных книготоргов.