

---

**МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА  
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

---

**СВОД ПРАВИЛ**

**СП XXX.1325800.2016**

**ТРУБЫ  
ПРОМЫШЛЕННЫЕ ДЫМОВЫЕ**

**Правила проектирования**

**Издание официальное**

**Первая редакция**

**Москва 2016**

## **Предисловие**

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила разработки — постановлением Правительства Российской Федерации от 1 июля 2016 года N 624 «Об утверждении Правил разработки, утверждения, опубликования, изменения и отмены сводов правил»

### Сведения о своде правил

1 ИСПОЛНИТЕЛЬ - Ассоциация пече-трубостроителей и пече-трубопроизводителей России («РосТеплостройМонтаж»).

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 465 «Строительство»

3 ПОДГОТОВЛЕН к утверждению Департаментом градостроительной деятельности и архитектуры Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России)

4 УТВЕРЖДЕН приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от \_\_\_\_\_ 201\_\_ г. № \_\_\_\_\_ и введен в действие с \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

5 ЗАРЕГИСТРИРОВАН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт).

### 6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего свода правил публикуется в ГОСТ Р 1.0 -2012 (раздел 8) Информация об изменениях к настоящему Своду правил публикуется ежегодном издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячно издаваемых информационных указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего Свода правил соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте разработчика (Минстрой России) в сети Интернет.*

*Настоящий нормативный документ не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Минстроя России.*

## **Введение**

Настоящий свод правил разработан с учетом обязательных требований, установленных в Федеральных законах от 27 декабря 2002 г. N 184-ФЗ «О техническом регулировании», от 30 декабря 2009 г. N 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

Работа выполнена Некоммерческой организацией – Ассоциация пече-трубостроителей и пече-трубопроизводителей России «РосТеплостройМонтаж» (Ассоциация «РосТеплостройМонтаж»).

Авторский коллектив: АО «Союзтеплострой» инж. Г.М. Мартыненко – руководитель разработки, Ассоциация «РосТеплостройМонтаж» - инж. Ю.П. Сторожков, СРО НП «МонтажТеплоСпецстрой» - инж. А.Ф. Федин, ООО АС «Теплострой» - инженеры В.А. Сырых, Т.В. Цепилов, ООО «Спецвысотстройпроект» - канд. техн. наук. С.Б. Шматков, ООО «ПСФ Энерго» - канд. техн. наук А.З. Корсунский, АО «ЦНИИПромзданий» - д-р техн. наук Гранев В.В., канд. архитектуры Лейкина Д.К., инж. К.В. Авдеев, ЗАО ЦНИИПСК им. Мельникова - инженеры Е.А. Понурова, Г.Р. Шеляпина, Р.М. Шилькрот, канд. хим. наук Г.В. Оносов, ОАО «Теплопроект» - инж. А.А. Ходько, ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» - докт техн. наук, проф В.И. Соломин, докт. техн. наук, проф., В.М. Асташкин, докт. техн. наук А.Н. Потапов, при участии объединения «Союзкомполит» - инженеры С.Ю. Ветохин, А.В. Гералтовский.

## Содержание

1 Область применения .....	
2 Нормативные ссылки .....	
3 Термины и определения.....	
4 Общие требования.....	
5 Особенности проектирования труб в сейсмических районах.....	
6 Предельные состояния.....	
7 Нагрузки и воздействия .....	
8 Коэффициенты надежности.....	
9 Требования к инженерным изысканиям.....	
10 Проектирование фундаментов .....	
10.1 Конструирование фундаментов .....	
10.2 Расчет оснований фундаментов.....	
10.3 Расчет круглых кольцевых фундаментных плит .....	
11 Монолитные железобетонные трубы .....	
12 Сборные железобетонные трубы .....	
13 Кирпичные трубы.....	
14 Стальные трубы .....	
15 Трубы из композиционных материалов.....	
16 Трубы в поддерживающих каркасах.....	
17 Футеровочные системы.....	
17.1 Общие указания.....	
17.2 Газоотводящие стволы.....	
17.3 Монолитные железобетонные трубы.....	

17.4 Кирпичные трубы.....	
17.5 Сборные железобетонные трубы.....	
17.6 Стальные трубы.....	
18 Светофорные площадки, светоограждение, молниезащита, ходовые лестницы.....	
Приложение А (обязательное) Расчет ветровой нагрузки при зональном действии ветра.....	
Приложение Б (справочное) Принципиальные схемы стальных труб.....	
Библиография.....	

## СВОД ПРАВИЛ

---

### ТРУБЫ ПРОМЫШЛЕННЫЕ ДЫМОВЫЕ

#### Правила проектирования

### CHIMNEYS INDUSTRIAL

#### Design rules

---

Дата введения 20\_\_-\_\_-\_\_

#### 1 Область применения

1.1 Настоящий свод правил устанавливает требования к проектированию промышленных дымовых трубы, включая фундаменты, с несущими стволами из кирпича, железобетона, стали, композиционных материалов, а также на дымовые трубы с газоотводящими стволами, поддерживаемыми несущими металлическими башнями (каркасами).

1.2 Свод правил не распространяется на проектирование дымовых промышленных труб высотой менее 15 метров включительно.

1.3 Свод правил не распространяется на проектирование фундаментов дымовых труб, предназначенных для строительства в особых условиях: на вечномёрзлых, просадочных, насыпных и намывных грунтах, на подрабатываемых и закарстованных территориях.

## **2 Нормативные ссылки**

ГОСТ 12071-2000. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов

ГОСТ 19281-2014 Прокат повышенной прочности. Общие технические условия

ГОСТ 19912-2012 Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием

ГОСТ 20276-2012 Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости

ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований, основные положения

ГОСТ 30244-2014 Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть.

СП 12.13330.2012 «СНиП II-22-81 Каменные и армокаменные конструкции»

СП 13-101-99 «Правила надзора, обследования, проведения технического обслуживания и ремонта промышленных дымовых и вентиляционных труб»

СП 14.13330.2014 «СНиП II-7-81 Строительство в сейсмических районах»

СП 16.13330.2011 «СНиП II-23-81 Стальные конструкции»

СП 20.13330.2011 «СНиП 2.01.07-85 Нагрузки и воздействия»

СП 22.13330.2011 «СНиП 2.02.01-83 Основания зданий и сооружений»

СП 24.13330.2011 «СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты»

СП 27.13330.2011 «СНиП 2.03.04-84 Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур»

СП 28.13330.2012 «СНиП 2.03.11-85 Защита строительных конструкций от коррозии»

СП 43.13330.2012 «СНиП 2.09.03-85 Сооружение промышленных предприятий»



СП 47.13330.2012 «СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения»

СП 56.13330.2011 «СНиП 31-03-2001 Производственные здания»

СП 63.13330.2012 «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»

СП 70.13330.2012 «СНиП 3.03.01-87 Несущие и ограждающие конструкции»

СП 164.1325800.2014 «Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования»

**Примечание** – При пользовании настоящим сводом правил целесообразно проверить действие ссылочных документов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего свода правил в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

### **3 Термины и определения**

В настоящем своде правил применены следующие термины с соответствующими определениями:

**3.1 арка полуциркулярная:** Арка, отношение стрелы подъёма которой к пролёту равно  $1/2$  и центральный угол  $180^\circ$ .

**3.2 арка лучковая:** Арка, отношение стрелы подъёма которой к пролёту менее  $1/2$ .

**Примечание** - Отношение стрелы подъёма арки лучковой и свода лучкового к пролёту, как правило, составляет  $1/8$ ,  $1/12$ ,  $1/16$  или  $1/32$ , а центральный угол – от  $120^\circ$  до  $180^\circ$  соответственно.

**3.3 бисфенол-А-фумаровые смолы:** Тип полиэфирных смол, имеющие двойные связи по всей цепи полимера, что позволяет получить твердые, химически стойкие смолы

**3.4 воздействие:** Явление, вызывающее изменение напряженно-деформированного состояния строительной конструкции.

**3.5 газоотводящий ствол:** Вертикальная часть газоотводящего тракта, обеспечивающая выброс в атмосферу и рассеивание отводимых газов.

**3.6 газоход:** Часть газоотводящего тракта по которому отводимые газы перемещаются от обслуживаемого оборудования (теплового или промышленного агрегата) до трубы (газоотводящего ствола) промышленной дымовой трубы.

**3.7 дивертор:** Устройство на дымовой трубе, создающее тягу и исключающее обратные потоки дымовых газов

**3.8 диффузор:** Расширяющийся по ходу движения газа участок газоотводящего тракта.

**3.9 интерцепторы:** Спиралевидные ребра, устанавливаемые в верхней части трубы (обычно металлической), для предотвращения или уменьшения ее резонансных колебаний в ветровом потоке.

**3.10 компаунд эпоксидный:** Однородная смесь полимера или полимеров с другими компонентами (наполнители, катализаторы пластификаторы и красители)

**3.11 конфузор:** Сужающийся по ходу движения газов участок газоотводящего тракта.

**3.12 коэффициент сочетаний нагрузок:** Коэффициент, учитывающий уменьшение вероятности одновременного достижения несколькими нагрузками их расчетных значений.

**3.13 коэффициенты надежности:** Коэффициенты, учитывающие возможные неблагоприятные отклонения значений нагрузок, характеристик

материалов и расчетной схемы строительного объекта от реальных условий его эксплуатации, а также уровень ответственности строительных объектов.

**3.14 ламинат структурный:** Листовой слоистый материал, состоящий из наложенных друг на друга слоев из различных материалов, пропитанных полимером и соединенных вместе под давлением.

**3.15 маркировочная окраска:** Окраска высотного сооружения горизонтальными полосами белого и красного (оранжевого) цветов для выделения его на фоне местности с целью обеспечения безопасности полетов воздушных судов и выполняемая в соответствии с авиационными правилами [1].

**3.16 молниезащита:** Устройство для защиты дымовой трубы и его отдельных элементов от прямого удара молнии.

**3.17 нагрузки:** Внешние механические силы (вес конструкций, грунта, ветровые, инерционные воздействия и т.п.), действующие на строительные объекты.

**3.18 нагрузки постоянные:** Нагрузки, изменение расчетных значений которых в течение расчетного срока службы сооружения мало по сравнению с их средними значениями.

**3.19 нагрузки длительные:** Нагрузки, сохраняющие расчетные значения в течение большого промежутка времени эксплуатации сооружения.

**3.20 нагрузки кратковременные:** Нагрузки, длительность действия расчетных значений которых значительно меньше срока службы сооружения.

**3.21 нагрузки особые:** Нагрузки и воздействия (взрыв, столкновение с транспортным средством, авария, землетрясение, отказ работы несущего элемента конструкции), создающие аварийные ситуации с возможными катастрофическими последствиями.

**3.22 надежность:** Способность строительного объекта выполнять требуемые функции в течение расчетного срока эксплуатации.

**3.23 несущая конструкция:** Конструкция, воспринимающие основные нагрузки и обеспечивающие прочность, жесткость и устойчивость зданий и сооружений.

**3.24 несущая способность:** Максимальный эффект воздействия, при котором в отношении несущих конструкций, а также грунтов основания не происходит разрушение любого характера (пластического, хрупкого, усталостного), потеря местной или общей устойчивости.

**3.25 нормативные характеристики физических свойств материалов:** Значения физико-механических характеристик материалов, устанавливаемые в нормативных документах или технической документации и контролируемые при их изготовлении, при строительстве и эксплуатации строительного объекта.

**3.26 предельное состояние:** Состояние строительного объекта, при превышении характерных параметров которого эксплуатация строительного объекта недопустима, затруднена или нецелесообразна.

**3.27 промышленная труба:** Высотное сооружение, предназначенное для создания тяги, отвода в атмосферу и рассеивания продуктов сгорания топлива или воздуха, содержащего вредные примеси.

Примечание – Промышленные трубы, отводящие преимущественно продукты сгорания топлива, называются дымовыми, а промышленные трубы, отводящие преимущественно воздух, содержащий вредные примеси, называются вентиляционными.

**3.28 разделительная стенка:** Конструкция в нижней части ствола трубы или газоотводящего ствола, разделяющая встречные потоки подводимых газов при двух и более вводах газоходов.

**3.29 расчетная модель трубы:** Модель взаимосвязанной системы "ствол трубы - фундамент – основание", используемая при проведении расчетов и включающая в себя: расчетные схемы, идеализирующие геометрию рассчитываемого объекта; расчетные модели нагрузок и воздействий; расчетные модели напряженно-деформированного состояния; расчетные модели материалов; расчетные модели сопротивления.

**3.30 расчетная ситуация:** Учитываемый при расчете сооружения комплекс наиболее неблагоприятных условий, которые могут возникнуть при его возведении и эксплуатации.

**3.31 расчетный срок службы:** Установленный в нормах проектирования или в задании на проектирование период использования строительного объекта по назначению до капитального ремонта либо реконструкции при нормальной эксплуатации с предусмотренным техническим обслуживанием; расчетный срок службы отсчитывается от начала эксплуатации или возобновления эксплуатации после капитального ремонта, реконструкции, либо расконсервации.

**3.32 самонесущая конструкция:** Конструкция, воспринимающая нагрузку преимущественно от собственного веса.

**3.33 световое ограждение:** Обозначение местоположения высотного сооружения в темное время суток и при плохой видимости с помощью заградительных огней, устанавливаемых на сооружении для обеспечения безопасности полетов воздушных судов в соответствии с авиационными правилами [1].

**3.34 светофорные площадки:** Площадки, предназначенные для размещения и обслуживания заградительных огней светового ограждения трубы; используются также при осмотрах, обследованиях, техническом обслуживании и ремонтах трубы.

**3.35 секция газоотводящего ствола:** Составная часть газоотводящего ствола, ограниченная температурно-компенсационными стыками (или свободным краем) и собранная из отдельных элементов с помощью жестких (чаще всего неразъемных) соединений.

**3.36 смола хлорэндиктовая:** Эпоксидная смола с отвердителем хлорэнтиктовый ангидрид, обеспечивающим отвержденной системе более высокую теплостойкость

**3.37 смола эпоксивинилэфирная:** Разновидность эпоксидной смолы

**3.38 среда агрессивная:** Среда эксплуатации объекта, вызывающая уменьшение сечений и деградацию свойств материалов во времени.

**3.39 царга:** Составная часть газоотводящего ствола (отправочная марка), как правило цилиндрической формы, имеющая необходимые элементы для соединения со смежными частями газоотводящего ствола.

**3.40 футеровочная система:** Система защиты несущего ствола от агрессивного или температурного воздействия отводимых газов, состоящая из футеровки (газоотводящего ствола), тепловой изоляции, опорных конструкций и пр.

#### **4 Общие требования**

4.1 Проектирование промышленных дымовых труб следует выполнять с учетом требований разделов 9.3 и 9.4 СП 43.13330, при этом должна быть обеспечена эвакуация в атмосферу и эффективное рассеивание отводимых газов до допустимых гигиеническими нормами пределов концентрации на уровне земли.

При проектировании дымовых труб следует также учитывать требования СП 13-101 и СП 56.13330.

4.2 Трубы могут быть:

- свободностоящими (самонесущими) – кирпичные, армокирпичные, монолитные железобетонные, сборные железобетонные, стальные, из композиционных материалов;
- самонесущими с оттяжками – стальные, из композиционных материалов;
- в поддерживающем каркасе (башне) – стальные, из композиционных материалов.

4.3 Расчет параметров характеристик для проектирования: конструкции и материалов трубы, условия определения высоты и диаметра трубы, требования к минимальному расстоянию между трубами, а также требования к расчетной скорости дымовых газов на выходе из устья трубы следует осуществлять в соответствии с СП 43.13330.

4.4 Расчетный срок службы трубы должен быть указан в проектной документации, в соответствии с рекомендуемым сроком в зависимости от типа труб указанным в СП43.13330.

4.5 В местах соединения газоходов с трубой следует предусматривать осадочные швы или компенсаторы, при этом нормируемая деформация компенсирующих устройств должна не менее чем на 20% превышать расчетную разность осадки газохода и трубы.

4.6 При вводе газоходов с противоположных сторон в цокольной части трубы необходимо предусматривать разделительную стенку. Высота разделительной стенки должна приниматься не менее полуторной высоты подводящих газоходов по внутренним размерам, и находится в интервале от 1,0 до 1,5 м выше проемов для подвода газоходов.

Разделительная стенка должна исключить соударение потоков газов при входе их в трубу, а так же заброс золы уноса из работающего газохода в неработающий при временном отключении одного из газоходов.

4.7 Разделительные стенки следует проектировать из кирпича, металла или железобетона. Между разделительной стенкой и футеровкой необходимо предусматривать зазор для компенсации температурных деформаций стенки.

Суммарную площадь ослабления в сечении трубы при вводе газоходов рассчитывают в соответствии с СП 43.13330.

4.8 В соответствии с требованиями авиационных правил [1] в проектной и рабочей документации должны быть предусмотрены маркировочная окраска и световое ограждение трубы, обеспечивающие безопасность полетов воздушных судов.

4.9 Для измерения параметров температурно-влажностных, газовых и аэродинамических режимов в стволе трубы следует предусматривать установку контрольно-измерительных приборов. В зависимости от условий эксплуатации могут контролироваться следующие параметры отводимых газов:

- температура;

- влажность;
- запыленность;
- давление (разряжение);
- химический состав отводимых газов.

Для труб с проходным или вентилируемым зазором дополнительно могут контролироваться:

- температура воздуха в зазоре;
- разность давлений между отводимыми газами и воздухом в зазоре.

Необходимость установки контрольно-измерительной аппаратуры, контролируемые параметры и места расположения первичных приборов должны быть указаны в задании на проектирование.

## **5 Особенности проектирования труб в сейсмических районах**

5.1 Расчетная сейсмичность площадки строительства в баллах должна приниматься по результатам сейсмического микрорайонирования, выполняемого при инженерно-геологических изысканиях в сейсмически опасных районах. Для труб высотой не более 100 м, проектируемых при I (простой) категории сложности инженерно-геологических условий, расчетную сейсмичность площадки строительства допускается определять по таблице 1 СП 14.13330. Выбор карты (А или В) в этом случае, указывают в задании на проектирование.

5.2 Не допускается строительство кирпичных и армокирпичных труб при расчетной сейсмичности выше 7 баллов. Железобетонные и стальные трубы, включая газоотводящие стволы с несущими башнями, могут возводиться при расчетной сейсмичности до 9 баллов включительно. Проектирование и строительство дымовых труб на площадках с расчетной сейсмичностью 10 баллов допускается при обязательном научном сопровождении и участии специализированной научно-исследовательской организации.

При расчетной сейсмичности площадки строительства не более 7 баллов для стальных не футерованных труб высотой до 100 м включительно и не более 6



баллов для всех остальных типов труб, сейсмические нагрузки при их проектировании могут не учитываться.

5.3 Расчет труб на сейсмические нагрузки допускается выполнять с использованием консольной расчетной динамической модели с сосредоточенными массами в узловых точках - рисунок 1- с учетом не менее трех форм собственных колебаний, если период первой низшей формы собственных колебаний  $T_1 > 0,4$ с, и с учетом только первой формы, если  $T_1 \leq 0,4$  с.

Расчетную сейсмическую нагрузку ( $S_{ik}$ ) - для  $i$ -ой формы собственных колебаний определяют по формуле:

$$S_{ik}=1,5K_0K_1gm_kAK_A\beta_i\eta_{ik}, \quad (1),$$

где:

-  $K_0$  – коэффициент, учитывающий назначение дымовой трубы и её ответственность;

-  $K_1$  – коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения трубы;

-  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup> – ускорение свободного падения;

-  $m_k$  – масса участка ствола дымовой трубы, отнесенная к точке  $k$  оси ствола и определяемая с учетом коэффициентов сочетаний и коэффициентов надежности, принимаемых по таблицам 1 и 2;

-  $A$  – коэффициент, значение которого следует принимать равным - 0,1, 0,2, 0,4 при расчетной сейсмичности 7, 8, 9 баллов соответственно;

-  $K_A$  – коэффициент, принимаемый равным единице при использовании результатов сейсмического микрорайонирования, либо выбираемый по таблице 4 СП 14.13330;

-  $\beta_i$  – коэффициент динамичности, соответствующий  $i$ -ой форме собственных колебаний и назначаемый в соответствии с п. 5.6 СП 14.13330;

-  $\eta_{ik}$  – коэффициент, рассчитываемый по формуле:

$$\eta_{ik} = \frac{y_{ik} \sum_{j=1}^n m_j y_{ij}}{\sum_{j=1}^n m_j y_{ij}^2} \quad (2),$$

где  $u_{ik}$ ,  $u_{ij}$  – горизонтальные перемещения оси ствола трубы при собственных колебаниях по  $i$ -ой форме в точках, где приложены сосредоточенные массы в соответствии с рисунком 1.

Значения  $u_{ij}$  допускается вычислять по формуле:

$$u_{ij} = \frac{1}{1+K\bar{z}_j} [\sin(\bar{z}_j\pi/2) + (C_2/C_1)_i \sin(\bar{z}_j3\pi/2) + (C_3/C_1)_i \sin(\bar{z}_j5\pi/2)]. \quad (3),$$

где

$$-\bar{z}_j = z_j/H;$$

- значения параметров  $K$ ,  $(C_2/C_1)_i$  и  $(C_3/C_1)_i$  определяют в соответствии с ВСН 286[2].

Для дымовых труб на объектах энергетики, теплоснабжения и других объектах, отказы которых могут привести к тяжелым экономическим, социальным и экологическим последствиям, значение коэффициента  $K_0$  принимается равным 1,5. Для труб на других объектах -  $K_0=1$ .

Коэффициент  $K_1$ , учитывающий допускаемые повреждения трубы, принимается равным:

- 0,4 для кирпичных и армокирпичных труб;
- 0,3 для сборных железобетонных труб;
- 0,25 для монолитных труб;
- 0,22 для стальных труб и несущих башен.

В задании на проектирование могут быть заданы иные значения коэффициентов  $K_0$  и  $K_1$  в зависимости от назначения дымовой трубы и опасности её обрушения.

При расчете сейсмичности площадки 8 баллов и более, повышенной только в связи с наличием грунтов категории III (в соответствии с таблицей 1 СП 14.13330) значение  $S_{ik}$ , вычисленное по формуле 1, дополнительно умножают на коэффициент 0,7, учитывающий нелинейное деформирование грунтов.

5.4 Расчетные значения изгибающих моментов, поперечных сил, перемещений и других параметров напряженно деформированного

состояния,  $X_p$ , вызванных сейсмическими нагрузками, следует определять по формуле:

$$X_p = \sqrt{\sum_{i=1}^m X_i^2}, \quad (4),$$

где

- $X_i$  - значение соответствующего параметра для  $i$ -ой формы колебаний;
- $m$  – количество учитываемых в расчете форм колебаний.

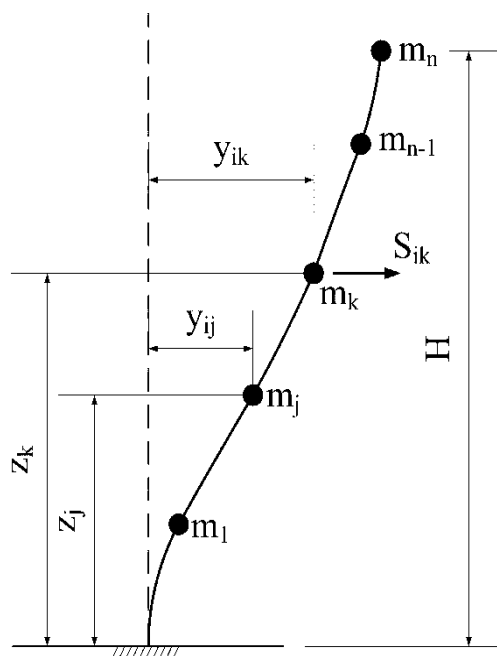


Рис. 1 Консольная расчетная динамическая модель ствола трубы при расчете на сейсмические воздействия

5.5 При расчетах несущих конструкций труб на прочность и устойчивость, усилия от сейсмических нагрузок в расчетных сечениях необходимо дополнительно делить на коэффициент условий работы  $m_{kp}$ , назначаемый по таблице 7 СП 14.13330. При нелинейных расчетах ствола и фундамента допускается деление сейсмических нагрузок на этот коэффициент.

5.6 Расчеты кирпичных и армокирпичных труб должны выполняться на одновременное действие горизонтально и вертикально направленных сейсмических сил.

Приращение продольной силы в горизонтальных сечениях ствола, вызванное вертикальными сейсмическими силами, принимается равным  $\pm 15\%$

от расчетной продольной силы при статической нагрузке, вычисленной с учетом указаний 6-7.

5.7 Расчет горизонтальных сечений необходимо выполнять, рассматривая два расчетных сочетания для вертикальных сейсмических нагрузок: когда приращение продольной силы вызывает увеличение продольной сжимающей силы и когда приращение продольной силы вызывает её уменьшение.

5.8 Вертикальную сейсмическую нагрузку необходимо учитывать при расчете консолей железобетонных и кирпичных труб путем увеличения соответствующей статической нагрузки на консоль на 15% при расчетной сейсмичности 7-8 баллов и на 30% при сейсмичности 9 баллов.

5.9 При проектировании железобетонных стволов и фундаментов труб для сейсмических районов необходимо соблюдать дополнительные требования к их армированию, в соответствии с СП 14.13330 и СП 43.13330.

5.10 Расчет и проектирование свайных фундаментов следует выполнять в соответствии с СП 24.13330.

## **6 Предельные состояния**

6.1 При проектировании дымовых промышленных труб необходимо учитывать следующие предельные состояния конструкций:

- первая группа предельных состояний - состояния, превышение которых ведет к разрушению любого характера (пластичное, хрупкое, усталостное), к исчерпанию несущей способности, потере местной или общей устойчивости;

- вторая группа предельных состояний - состояния, при превышении которых нарушается нормальная эксплуатация трубы, сокращается долговечность или нарушаются условия комфортности.

6.2 Вторая группа предельных состояний характеризуется достижением предельных деформаций и перемещений, а для железобетонных конструкций также ширины раскрытия трещин, значения которых устанавливаются из технологических, конструктивных и эстетико-психологических требований. Предельные значения деформаций основания фундаментов для стадии

проектирования приведены в таблице 1. Предельные значения ширины раскрытия трещин, вычисленной на уровне арматуры в железобетонных конструкциях, указаны в таблице 2. (Для фундаментов труб высотой 100 м и более трещины не допускаются).

Горизонтальное перемещение верха трубы от нормативной ветровой нагрузки не должно превышать  $1/75$  её высоты. Кроме того, в задании на проектирование может быть указано предельное значение перемещения верха трубы от ветровой нагрузки, устанавливаемое из эстетико-психологических соображений.

Таблица 1 Предельные деформации оснований фундаментов

Высота трубы Н, м	Крен, $i_u$	Осадка $s_u$ , см
$H \leq 100$	0,005	40
$100 < H \leq 200$	$1/(2H)$	30
$200 < H \leq 300$	$1/(2H)$	20
$H > 300$	$1/(2H)$	10

Таблица 2 Предельная ширина раскрытия трещин, мм

Конструкция	Непродолжительное раскрытие	Продолжительное раскрытие
Несущий железобетонный ствол:		
Верхняя треть высоты ствола	0,1	--
Нижние две трети высоты ствола	0,2	--
Железобетонный фундамент при степени агрессивности среды:		
Неагрессивная	0,40	0,30
Слабоагрессивная	0,20	0,15
Среднеагрессивная	0,15	0,10
Сильноагрессивная	0,10	0,05

Примечание: Степень агрессивности среды учитывают по СП 28.13330.

## 7 Нагрузки и воздействия

### 7.1 Расчеты по предельным состояниям должны обеспечить:

- безопасность дымовой трубы;
- предотвращение чрезмерной деформации и перемещения при совместном действии собственного веса, ветровой нагрузки, технологической температуры, сейсмических воздействий с учетом усилий, вызываемых креном фундамента, изгибом ствола трубы, односторонним нагревом солнцем.

Необходимо учитывать изменение характеристик строительных материалов за счет климатических факторов, температурно-влажностных и агрессивных воздействий дымовых газов и окружающей среды, деградацию свойств материалов за время эксплуатации. При расчетах конструкций дымовых труб следует учитывать требования СП 20.13330.

7.2 При расчетах по предельным состояниям должны быть рассмотрены следующие расчетные ситуации:

- установившаяся - ситуация, имеющая продолжительность того же порядка, что и срок эксплуатации трубы, либо срок эксплуатации трубы между двумя капитальными ремонтами или изменениями технологического процесса;
- переходная - ситуация, имеющая небольшую по сравнению со сроком эксплуатации трубы продолжительность: возведение трубы, капитальный ремонт (реконструкция), разогрев либо остановку дымовой трубы;
- особая - ситуация, соответствующая расчету на сейсмические воздействия.
- для труб повышенного уровня ответственности следует учитывать аварийные расчетные ситуации, имеющие малую вероятность возникновения, но являющиеся опасными с точки зрения последствий достижения предельных состояний, возникающих в связи с обрушением отдельных элементов трубы (части футеровки, элементов несущего каркаса и т.п.), неравномерной осадки основания, после отказа одного из элементов несущих конструкций и которые могут привести к существенным социальным, экологическим и экономическим потерям.

7.3 Подразделение нагрузок на постоянные, длительные, кратковременные и особые, а так же коэффициенты сочетаний нагрузок для основных расчетных сочетаний установившейся ситуации и особого сочетания следует принимать по таблице 3.

7.4 Цилиндрические трубы и трубы небольшой конусности (уклон до 1,2%) необходимо рассчитывать на резонансное вихревое возбуждение и вызываемое им накопление усталостных повреждений.

Для предотвращения резонансного возбуждения могут быть использованы оттяжки, динамические гасители колебаний: механические или динамические гасители колебаний или гасители колебаний в виде спиральных интерцепторов, стрейков или прутковой навивки.

Таблица 3 Нагрузки и коэффициенты сочетаний нагрузок

Вид нагрузки	Коэффициенты сочетаний		
	Основных		Особых
	I гр. предельных состояний	II гр. предельных состояний	
Постоянные			
Собственный вес конструкций (ствола, фундамента) футеровки, тепловой изоляции, внутренних газоотводящих стволов, перекрытий, площадок, балконов, лестниц и т.п.	1,0	1,0	0,9
Длительные			
Вес отложений золы и пыли	1,0	1,0	0,8
Воздействия, вызванные креном фундамента	1,0	1,0	0,9
Температурное воздействие отводимых газов	1,0	1,0	1,0
Кратковременные			
Ветровая нагрузка	1,0	0,9	0,0
Климатическое температурное воздействие	1,0	1,0	
Дополнительный изгибающий момент от силового изгиба ствола	1,0	1,0	1,0
Дополнительный изгибающий момент от изгиба ствола за счет одностороннего нагрева солнцем	0,0	0,9	0,0
Особые			
Сейсмические нагрузки			1,0

## 8 Коэффициенты надежности

8.1 Неблагоприятные отклонения реальных условий эксплуатации от расчетной модели дымовой трубы следует учитывать следующими коэффициентами надежности:

- по нагрузке  $\gamma_f$ ;
- по материалу  $\gamma_m$ ;

- условий работы  $\gamma_d$ ;

- надежности по ответственности сооружения  $\gamma_n$ , которые применяют при расчетах по первой группе предельных состояний и при расчете на особое сочетание нагрузок.

8.2 Нагрузки и воздействия на дымовые трубы, коэффициенты надежности по нагрузке, а также возможные сочетания нагрузок должны приниматься согласно требованиям СП 20.13330. Коэффициенты надежности по нагрузке при расчете по первой группе предельных состояний следует принимать по таблице 4. Коэффициенты надежности по нагрузке при расчете по предельным состояниям второй группы и при расчете на особые и аварийные ситуации следует принимать равным единице, если иное не оговорено в задании на проектирование.

8.3 При проектировании дымовых промышленных труб повышенного уровня ответственности необходимо учитывать коэффициент надежности по ответственности, который должен приниматься не ниже значения  $\gamma_n = 1,1$ .

Конкретные значения коэффициента надежности по ответственности устанавливает генеральный проектировщик по согласованию с заказчиком в задании на проектирование. На коэффициент надежности по ответственности следует умножать эффекты воздействия (нагрузочные эффекты), определяемые при расчете на основные сочетания нагрузок по первой группе предельных состояний.

При расчетах по второй группе предельных состояний коэффициент надежности по ответственности допускается принимать равным единице.

При расчете на сейсмические нагрузки уровня ответственности следует принимать во внимание правила, установленные в СП 14.13330 и 4.10.3 настоящего свода правил коэффициентом  $K_0$  в формуле 1 для расчета сейсмической нагрузки.



Таблица 4 Коэффициенты надежности по нагрузке

Вид нагрузки, воздействия	$\gamma_f$
Ветровая нагрузка:	
при высоте трубы $H \leq 150$ м	1,4
$150 < H \leq 300$ м	1,5
$H > 300$ м	1,6
Температурный перепад по толщине стенки ствола трубы или фундамента	1,1
Собственный вес конструкций:	
Металлических	1,05
кирпичных и армокирпичных, бетонных и железобетонных со средней плотностью выше $1600 \text{ кг/м}^3$ , из полимерных композиционных материалов	1,1
бетонных и армированных монолитных футеровок, выполняемых на строительной площадке	1,2
то же в заводских условиях	1,1
всех видов тепловой изоляции, стяжек, засыпок, защитных и изолирующих слоев, выполняемых на строительной площадке	1,3
то же в заводских условиях	1,2
грунты в природном залегании	1,1
грунты на строительной площадке (обратные засыпки и др.)	1,15
при расчетах элементов сборных конструкций при транспортировании	1,8
то же при подъеме и монтаже	1,5

Примечания:

1. При расчетах по первой группе предельных состояний стволов железобетонных и кирпичных труб необходимо дополнительно рассматривать расчетную ситуацию с коэффициентом надежности по нагрузке для собственного веса конструкций  $\gamma_f = 1$ .

2. Для металлических конструкций, в которых напряжения от собственного веса превышают 50% общих напряжений, следует принимать  $\gamma_f = 1,1$ .

3. При расчете стальных труб и башен коэффициент надежности по ветровой нагрузке следует принимать равным 1,4 при высоте до 100 м включительно и равным 1,5 при высоте более 100 м. При высоте более 210 м коэффициент надежности следует принимать по специальным техническим условиям.

4. Для переходной расчетной ситуации ветровую нагрузку допускается принимать с коэффициентом  $\gamma_f = 1$ .

## 9 Требования к инженерным изысканиям

9.1 В состав инженерных изысканий должны входить следующие основные их виды:

- инженерно-геодезические;
- инженерно-геологические;
- инженерно-гидрометеорологические;
- инженерно-экологические.

9.2 Результаты инженерных изысканий должны быть достоверными и достаточными для установления проектных параметров дымовой трубы, выбора оптимального типа основания и фундамента, обоснования мероприятий по обеспечению охраны окружающей среды и мероприятий инженерной защиты.

Результаты инженерных испытаний должны проходить государственную экспертизу [3]

9.3 Инженерно–геодезические изыскания должны обеспечивать получение:

- топографо-геодезических материалов;
- данные инженерно-топографических планов с учетом расположения существующих зданий, сооружений, необходимых для разработки инженерных систем и коммуникаций в цифровом либо графическом видах;
- иных сведений, необходимых для разработки проектной документации.

9.4 Инженерно-геологические изыскания должны обеспечивать комплексное изучение инженерно-геологических условий района (площадки, участка) проектируемого строительства, включая:

- рельеф;
- геологическое строение;
- геоморфологические и гидрогеологические условия;
- состав, состояние и свойства грунтов;
- выявление опасных инженерно-геологических процессов;
- исследование инженерно-геологических условий освоенных (застроенных) территорий, в том числе составление прогноза возможных изменений процессов взаимодействия проектируемых объектов с геологической средой с целью получения необходимых и достаточных материалов для проектирования, строительства и эксплуатации.

9.5 Инженерно-геологические изыскания следует выполнять в объеме, требуемом действующими нормативными документами, при этом должны быть следующие сведения:

- местоположение территории предполагаемого строительства трубы;
- сведения о климатологических и сейсмических условиях и о ранее выполненных исследованиях грунтов и грунтовых вод.

9.6 Данные об инженерно-геологических выработках - план расположения с указанием координатной сетки и привязкой центра трубы, колонки грунтовых выработок, инженерно-геологические разрезы и все места отбора проб.

9.7 Необходимо использование выработок наряду с выявлением общей инженерно-геологической картины для отбора монолитов и проб с определением физико-механических характеристик грунтов.

Максимально допускаемое расстояние в плане между выработками в зависимости от сложности инженерно-геологических условий следует принимать по таблице 5.

Таблица 5 Расстояние между выработками

Инженерно-геологические условия	Максимальное расстояние между выработками, м
Простые	40
Средней сложности	30
Сложные	20

9.8 Выработки должны размещаться внутри контура проектируемого фундамента: одна в центре, остальные – равномерно по длине окружности радиусом 5, 10, 15, 20, 25, 30 м для труб высотой 50, 100, 200, 300, 400, 500 м соответственно. Для промежуточных высот труб значения радиусов принимать по интерполяции.

Количество выработок для труб любой высоты должно быть не менее 4.

9.9 Сложность инженерно-геологических условий площадки строительства трубы должна определяться следующими признаками:

- простые – однородное строение толщи грунта в геоморфологическом и геологическом отношениях (на 10 м глубины выработок не более 3-х слоев грунта различных по номенклатурным видам, возрасту и генезису с горизонтальным или пологим их залеганием);

- средней сложности – неоднородное строение толщи грунта в геоморфологическом и геологическом отношениях (на 10 м глубины выработок более 3-х слоев, залегающих наклонно или выклинивающихся).

В слоях грунта одного и того же номенклатурного вида возможны включения прослоев и линз грунтов иных видов;

- сложные – те же, что и средней сложности, но с проявлением неоднородности грунтов как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях и наличием набухающих, просадочных, засоленных и сильно сжимаемых  $E < 49 \times 10^5$  Па ( $50 \text{ кгс/см}^2$ ) грунтов.

9.10 Глубина проходки грунтовых выработок должна быть выполнена с соблюдением следующих условий:

- минимальную глубину проходки следует принимать по таблице 6;
- минимальная глубина проходки для свайных фундаментов должна увеличиваться на величину предполагаемого заглубления концов свай;
- при наличии просадочных, набухающих, сильно сжимаемых грунтов (илов, торфов, глинистых текучей консистенции и т.д.) глубина проходки должна определяться необходимостью их изучения на всю величину залегания и установления глубины залегания подстилающих более прочных грунтов, но быть не менее указанных значений в таблице 6.
- при наличии в пределах указанных глубин скальных грунтов, глубина проходки должна назначаться из условия прохождения всей мощности выветривавшегося слоя с заглублением в скальную породу на глубину не менее 1 м.

Таблица 6 Глубина проходки

Высота трубы, м	Глубина, м
$H \leq 100$	20
$100 < H \leq 200$	25
$200 < H \leq 300$	35
$300 < H \leq 400$	45
$400 < H \leq 500$	60

9.11 При проведении инженерных изысканий следует учитывать:

-гидрогеологические условия с указанием высотных отметок, появившихся и установившихся уровней грунтовых вод, амплитуды их колебаний.

-наличие гидравлических связей горизонтов вод между собой и ближайшими открытыми водоемами.

-агрессивность вод в отношении материалов конструкций по СП 28.13330 с учетом возможности ее повышения в процессе эксплуатации.

9.12 При описании грунтов строительной площадки в стратиграфической последовательности с детальным описанием литологических особенностей, условий залегания грунтов следует указывать следующие характеристики грунтов:

- удельная и объемная массы, природная влажность для всех видов грунтов;

- коэффициент пористости для нескальных грунтов;

- гранулометрический состав слоя крупнообломочных и песчаных грунтов;

- число пластичности, показатель консистенции и удельное сопротивление пенетрации для глинистых грунтов;

- модуль деформации (E), расчетных величин угла внутреннего трения ( $\phi$ ) и удельного сцепления (C) для всех видов нескальных грунтов;

- временное сопротивление при одноосном сжатии;

- коэффициент размягчаемости и степень выветрелости для скальных грунтов;

- степень растворимости (для скальных грунтов, способных к растворению) не только грунтовыми, но и промышленными агрессивными водами, появление которых возможно в процессе эксплуатации трубы;

- коэффициент выветрелости для крупнообломочных грунтов;

- относительная просадочность и величина начального просадочного давления;

- относительное набухание и усадка, величины давления набухания и влажности набухания для набухающих грунтов;
- количественный и качественный состав засоления для засоленных грунтов, степень коррозионной активности грунтов;
- процентное содержание растительных остатков для нескальных грунтов и степень разложения органического вещества для насыпных заторфованных грунтов и торфа.

Вышеуказанные характеристики грунтов следует определять на основании проведения комплексных (лабораторных, полевых, геофизических) исследований показателей свойств грунтов, с учетом требований СП 47.13330.

9.13 Монолиты грунтов для лабораторных исследований следует отбирать в соответствии с ГОСТ 12071 из инженерно-геологических выработок для каждого номенклатурного вида грунта не реже, чем через 1 м по глубине. Для однородного слоя количество монолитов может быть уменьшено до 3-х, отбираемых с кровли, середины и подошвы слоя.

9.14 Определение модуля деформации, неоднородности состава и состояния грунтов полевыми методами следует производить с помощью:

- штампов 5000 см<sup>2</sup> (в шурфах), начиная с глубины 5 м от принятой нулевой отметки, 600 см<sup>2</sup> (в скважинах) согласно ГОСТ 20276.

Проходку шурфов выполнять с учетом [4];

- прессиометров, согласно ГОСТ 20276;
- динамического и статического зондирования согласно СП 47.13330, ГОСТ 19912.

9.15 Геофизические методы исследований следует применять для определения плотности и влажности грунтов.

## 10 Проектирование фундаментов

### 10.1 Конструирование фундаментов

10.1.1 Фундаменты дымовых труб следует проектировать железобетонными, с подошвой круглого, многоугольного или кольцевого очертания на естественном или свайном основании.

Размеры подошвы фундамента на естественном основании следует принимать по СП 43.13330.

Конструктивная схема фундамента приведена на рисунке 2.

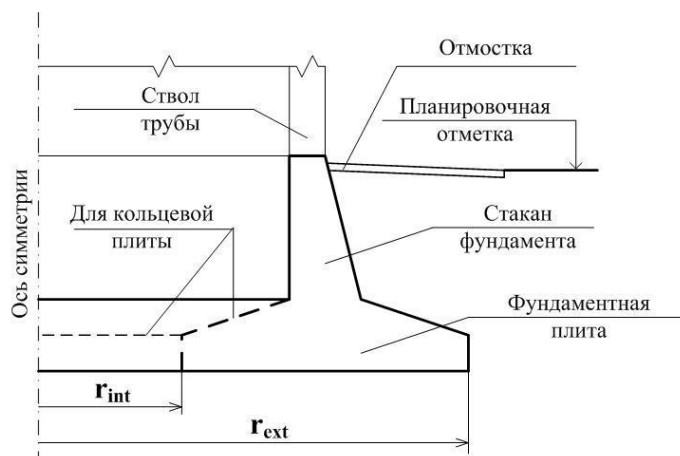


Рисунок 2 Конструктивная схема фундамента

10.1.2 Тип фундамента, его геометрические размеры, глубину заложения необходимо выбирать с учетом:

- данных инженерно-геологических изысканий;
- конструктивных особенностей трубы;
- технологии её возведения;
- расположения и глубины заложения примыкающих сооружений и газоходов.

10.1.3 Фундамент может состоять из цокольной части (стакана фундамента) и фундаментной плиты. Кольцевые фундаменты целесообразны, если внутренний радиус кольца больше половины наружного радиуса кольца и применяются, как правило, при диаметрах фундамента более 10 м.

10.1.4 Бетон для стакана фундамента должен соответствовать следующим характеристикам:

- класс по прочности не менее B25;
- марка по морозостойкости не менее F200;

- марка по водонепроницаемости не менее W8.

Для фундаментной плиты характеристики бетона должны быть не менее:

- класс по прочности не менее B20;

- марка по водонепроницаемости не менее W8.

- морозостойкость, при расположении плиты ниже уровня промерзания грунта, как правило, не нормируется.

В случае наличия агрессивных грунтовых вод, следует предусматривать антикоррозионные мероприятия или использовать специальные бетоны в соответствии с СП 28.13330.

10.1.5 В фундаментах труб высотой более 150 м следует предусматривать не менее 4-х осадочных марок, располагаемых, как правило, в специальных колодцах на уровне подошвы фундамента. Наблюдение за осадкой фундамента с помощью этих марок необходимо вести с начала бетонирования фундамента, далее в процессе возведения ствола трубы и затем при её эксплуатации.

Осадочные марки в фундаментной плите рекомендуется дублировать марками, закрепленными на стволе трубы на высоте от 0,5 до 1,0 м от планировочной отметки.

Для труб высотой 150 м и менее допускается не устанавливать осадочные марки в фундаментной плите, а ограничиваться марками, расположенными на стволе трубы.

10.1.6 Толщину фундаментной плиты следует назначать в соответствии с правилами проектирования железобетонных конструкций СП 63.13330 таким образом, чтобы вертикальная (поперечная) арматура по расчету не требовалась.

10.1.7 Армирование фундаментной плиты следует принимать по расчету и осуществлять отдельными стержнями, располагаемыми по радиально-кольцевой схеме, либо сварными арматурными сетками прямоугольной или трапециевидной формы. Для поддержания в проектном положении верхней арматуры и для конструктивного армирования бетона плиты, необходимо



устанавливать вертикальные плоские или пространственные арматурные каркасы для конструктивного армирования бетона плиты.

10.1.8 При конструировании фундаментов на свайном основании сваи в плане следует располагать по квадратной сетке либо по нескольким концентрическим окружностям таким образом, чтобы «грузовые площади», приходящиеся на каждую сваю, были примерно одинаковы, с соблюдением всех прочих требований, предусмотренных правилами проектирования свайных фундаментов СП 24.13330.

## 10.2 Расчет оснований фундаментов

10.2.1 Расчет оснований, сложенных дисперсными грунтами, следует выполнять по второй группе предельных состояний (по деформациям). В тех случаях, когда основание сложено скальными грунтами, расчет должен производиться по первой группе предельных состояний (по несущей способности).

10.2.2 Расчет оснований по деформациям следует выполнять в соответствии с СП 22.13330 и определять осадку основания фундамента  $s$  и крена фундамента  $i$ . Предельные значения деформаций приведены в таблице 1.

10.2.3 Расчет осадки основания следует выполнять методом послойного суммирования применяя расчетную схему в виде линейного деформируемого полупространства с условным ограничением глубины сжимаемой толщи  $H_c$ , которая определяется из условия, что максимальное вертикальное нормальное напряжение от внешней нагрузки на границе сжимаемой толщи равняется  $0,5\sigma_{zg}$ , где  $\sigma_{zg}$  вертикальное напряжение от собственного веса грунта. При этом глубина сжимаемой толщи  $H_c$  не должна быть меньше значения  $H_{min}$ , вычисляемого из условий:

$$H_{min} = \begin{cases} b/2, & \text{если } b \leq 10 \text{ м;} \\ 0,1b + 4\text{м}, & \text{если } 10 \text{ м} < b \leq 60 \text{ м;} \\ 10 \text{ м}, & \text{если } b > 60 \text{ м.} \end{cases} \quad (5)$$

Значение  $b$  в формуле 5 принимают равным  $2r_{\text{ext}}$  для фундаментов с круглой подошвой и равным  $(r_{\text{ext}} - r_{\text{int}})$  для кольцевых фундаментов (при условии, что  $r_{\text{int}} \geq 0,5r_{\text{ext}}$ ).

Если в пределах глубины  $H_c$ , найденной данным способом, залегает слой грунта с модулем деформации  $E \geq 100$  МПа, сжимаемую толщу допускается принимать до кровли этого грунта.

Если нижняя граница сжимаемой толщи  $H_c$  попадает в слой грунта с модулем деформации  $E \leq 7$  МПа или такой слой залегает непосредственно ниже глубины  $z = H_c$ , отсчитываемой от подошвы фундамента, то этот слой включают в сжимаемую толщу, а за  $H_c$  принимают минимальное из значений, соответствующих подошве слоя или глубине  $z$ , где выполняется условие  $\sigma_{zp} = 0,2 \sigma_{zg}$ .

При соответствующем обосновании для расчета осадки основания допускается применять расчетную схему в виде линейно деформируемого слоя с использованием формул, приведенных в СП 22.13330.

10.2.4 При расчете деформаций оснований фундаментов с использованием расчетных схем, указанных в 10.2.3, среднее давление под подошвой фундамента  $p$  не должно превосходить расчетного сопротивления грунта основания  $R$ , а максимальное давление на грунт  $p_{\text{max}}$ , вычисленное в предположении линейного распределения давления под подошвой, не должно превосходить  $1,2R$ .

Расчетное сопротивление грунта основания  $R$  следует определять в соответствии с указаниями СП 22.13330, при этом коэффициент  $\gamma_{c2}$  принимают как для сооружений с жесткой конструктивной схемой при  $L/H \leq 1,5$ , а ширину подошвы фундамента  $b$  вычисляют по формулам:

-  $b = r_{\text{ext}}\sqrt{\pi}$  для фундаментов с круглой подошвой;

-  $b = r_{\text{ext}} - r_{\text{int}}$  для кольцевых фундаментов (при условии, что  $r_{\text{int}} \geq 0,5r_{\text{ext}}$ ).

10.2.5 Неоднородность основания по сжимаемости в плане под подошвой фундамента характеризуется изменчивостью приведенных модулей деформации грунта [5] по расчетным вертикалям (выработкам). Если отношения максимального из приведенных модулей к минимальному не превосходит 1.5, то основание по сжимаемости в плане следует считать однородным. В противном случае основание должно рассматриваться как неоднородное по сжимаемости в плане.

10.2.6 Средняя осадка фундамента на неоднородном в плане основании должна рассматриваться как отношение к площади подошвы фундамента суммы осадок основания в расчетных точках, умноженных на площадь участков подошвы фундамента, относящихся к этим точкам.

10.2.7 Крен фундамента следует определять учитывая увеличение эксцентриситета вертикальных нагрузок за счет изгиба ствола трубы и наклона фундамента. Крен вычисляется по формуле:

$$i = 0,75 \frac{1-\nu^2}{E} M_{\text{tot}} / r_{\text{ext}}^3, \quad (6),$$

где

-  $E$  и  $\nu$  – модуль деформации и коэффициент поперечной деформации грунта основания (при необходимости их значения осредняются в пределах сжимаемой толщи  $H_c$ );

-  $M_{\text{tot}}$  – момент внешних сил, вычисляемый на уровне подошвы фундамента относительно её центральной оси.

Для кольцевых фундаментов крен, вычисленный по формуле 6, должен дополнительно увеличиться на коэффициент  $f$ , принимаемый по таблице 7.

Таблица 7 Поправочный коэффициент при расчете крена кольцевых фундаментов

$r_{\text{int}}/r_{\text{ext}}$	0,5	0,6	0,7	0,8
$F$	1,006	1,013	1,030	1,067

10.2.8 Для неоднородных по сжимаемости в плане оснований крен фундамента следует принимать как сумму двух составляющих. Первая

составляющая вызывается моментом, действующим на фундамент, и рассчитывается по формуле 6. Вторая составляющая вызывается неравномерностью осадки фундамента и её допускается рассчитывать по формуле:

$$i = (s_1 - s_2)/l \quad (7),$$

где

-  $s_1$  и  $s_2$  осадки противоположных точек основания под подошвой фундамента, вычисленных по формулам метода послойного суммирования, согласно инженерно-геологических изысканий для расчетных вертикалей, проходящих через данные точки;

-  $l$  – расстояние между точками.

При расчете крена по формуле 7 должны выбираться точки, дающие его наибольшее значение.

10.2.9 Расчет свайных оснований следует выполнять по указаниям СП 24.13330, при этом усилия в сваях необходимо определять из расчета свайно-плитного фундамента, учитывая физическую нелинейность деформирования фундаментной плиты с учетом жесткости стакана фундамента и ствола трубы в соответствии с 10.3.

### 10.3 Расчет круглых и кольцевых фундаментных плит

10.3.1 Нагрузка на фундамент от ствола трубы (рисунок 3) сводится к вертикальной осевой силе  $F_{tot}$  и моменту  $M_{tot}$ , который вычисляют относительно подошвы фундамента. Эти воздействия приводятся к вертикальной нагрузке  $F$ , распределенной по кольцу радиусом  $r_f$ , равному среднему радиусу нижней части ствола трубы

$$F = F_g + F_v \cos \varphi, \quad (8),$$

где

$F_g = F_{tot}/(2\pi r_f)$ ;  $F_v = M_{tot}/(\pi r_f^2)$ ; угол  $\varphi$  отсчитывается от радиального сечения, в плоскости которого действует  $M_{tot}$ .

В случае однородного в плане основания расчет фундаментной плиты допускается производить на условную осесимметричную нагрузку  $F = F_g + F_v$ .

Фундаментная плита условно рассчитывается на равномерную нагрузку  $P$  снизу, интенсивность которой равна наибольшему напряжению грунта под серединой консольного выступа фундамента за вычетом нормативной нагрузки сверху от собственной массы плиты фундамента и массы грунта на консолях.

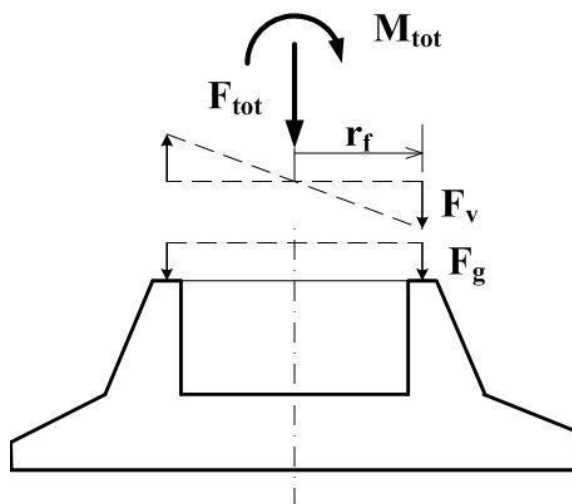


Рисунок 3 Нагрузки от ствола трубы

10.3.2 Для фундаментной плиты при осесимметричной нагрузке следует принимать нелинейные физические уравнения, связывающие изгибающие моменты и кривизны:

$$\begin{cases} M_r = D_r \varepsilon_r + D_{r\varphi} \varepsilon_\varphi; \\ M_\varphi = D_{r\varphi} \varepsilon_r + D_\varphi \varepsilon_\varphi. \end{cases} \quad (9),$$

где  $M_r$  и  $M_\varphi$  – радиальный и окружной изгибающие моменты;  $D_r$ ,  $D_\varphi$ ,  $D_{r\varphi}$  – жесткости;  $\varepsilon_r$  и  $\varepsilon_\varphi$  – радиальная и окружная кривизны, определяемые по формулам;

$$\varepsilon_r = -d^2w/dr^2; \quad \varepsilon_\varphi = -(1/r)dw/dr, \quad (10),$$

где  $w$  – вертикальное перемещение;  $r$  – текущий радиус.

При достижении хотя бы одним из моментов  $M_r$  или  $M_\varphi$  значения  $M_{кр}$ , соответствующего образованию трещин, полагается, что  $D_{r\varphi}=0$  и система уравнений по формуле 9 распадается на два уравнения. Зависимость момент-кривизна для этого случая графически показана на рисунке 4. Ее

аналитическое выражение определяется уравнениями изгиба железобетонных элементов, принимаемых в соответствии с СП 63.13330 и руководством [5]. При достижении моментом  $M_j$  своего предельного значения  $M_{u,j}$  ( $j = r, \phi$ ) предполагается, что кривизна  $\alpha_j$  может неограниченно возрастать, тем самым моделируется образование линейного пластического шарнира, перпендикулярного направлению  $j$ . Признаком исчерпания несущей способности фундаментной плиты является такое состояние, когда радиальные и кольцевые пластические шарниры смыкаются, образуя замкнуты области. Дальнейшее увеличение нагрузки на фундамент в этом случае возможно лишь за счет сопротивления основания. Различные схемы пластических шарниров, соответствующие принятому критерию исчерпания несущей способности, для кольцевых плит показаны на рисунке 5. Аналогичные схемы могут быть составлены для круглых плит.

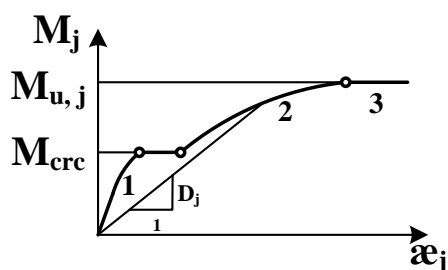


Рисунок 4 Зависимость момент-кривизна  
1 – стадия без трещин;  
2 – с трещинами;  
3 – предельная стадия

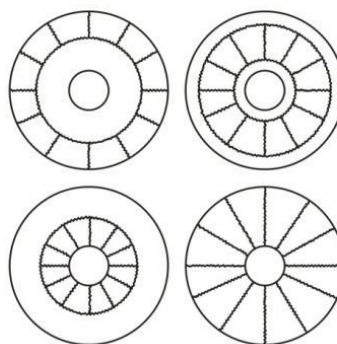


Рисунок 5 Схемы линейных пластических шарниров при исчерпании несущей способности кольцевых плит

10.3.3 При расчете фундаментной плиты, опирающийся на нее стакан фундамента допускается моделировать кольцевым брусом или усеченной конической оболочкой.

10.3.4 Расчетную модель основания допускается принимать в виде однородного линейно упругого слоя постоянной толщины, параметры которого  $H_c$ ,  $E$ ,  $\nu$  принимаются из расчета основания по деформациям в соответствии с

10.2.3 и 10.2.7. При этом допускается не учитывать силы трения и сцепления между подошвой фундаментной плиты и основанием.

10.3.5 Расчет свайных фундаментов и их оснований должен быть выполнен в соответствии с ГОСТ 27751 по предельным состояниям:

-первой группы:

а) по прочности материала свай и свайных ростверков;

б) по несущей способности (предельному сопротивлению) грунта основания свай;

в) по потере общей устойчивости оснований свайных фундаментов, если на них передаются значительные горизонтальные нагрузки, в том числе сейсмические.

-второй группы:

а) по осадкам основания свай и свайных фундаментов от вертикальных нагрузок;

б) по недопустимости образования трещин в элементах железобетонных конструкций свайных фундаментов.

10.3.6 Проектирование свайных фундаментов следует выполнять с учетом требований СП 24.13330

10.3.7 При подземном вводе газоходов и возможности нагрева фундаментной плиты и стакана фундамента, необходимо учитывать температурные усилия в фундаменте в соответствии с СП 27.13330.

## **11 Монолитные железобетонные трубы**

11.1 Проектирование железобетонных труб следует выполнять с учетом требований СП 63.13330, СП 43.13330 и данного раздела.

11.2 Ствол железобетонной трубы следует проектировать в виде полого усеченного конуса или цилиндра, либо комбинированной формы – в виде сочетания усеченного конуса в нижней части трубы и цилиндрической верхней части. По высоте ствол может иметь постоянный либо переменный уклон наружной поверхности и переменную толщину стенки.

11.3 Геометрические размеры ствола определяют по расчету, а так же исходя из конструктивных требований, архитектурных соображений, и возможностей оборудования, используемого для возведения трубы.

11.4 Отношение высоты всего ствола или его отдельного участка к своему нижнему наружному диаметру должно быть, как правило, не более 1/20. Толщину стенки назначают по расчету ствола трубы, но не менее 200 мм. Переменный уклон рекомендуется принимать от 0,0 % вверху до 8 % внизу, а постоянный уклон – от 0,0 до 3,0%.

11.5 Минимальный диаметр устья по технологическим условиям возведения трубы в переставной опалубке должен быть, как правило, не менее 3,6 м.

11.6 Для несущих стволов труб следует применять бетон в соответствии с СП 43.13330.

11.7 Цементы для бетона подбирают в соответствии с СП 28.13330 в зависимости от агрессивности среды эксплуатации.

11.8 Для внутренних газоотводящих стволов из тяжелого, жаростойкого или легкого конструкционного бетона его характеристики принимаются не ниже:

- класс по прочности не менее B15;
- марка по водонепроницаемости не менее W8.

11.9 В качестве рабочей арматуры рекомендуется применять горячекатаную сталь периодического профиля классов A400, A500 диаметром от 10 до 28 мм. Стержни диаметром более 28 мм допускается использовать для армирования участков, ослабленных проемами, а также для армирования фундаментов. В качестве монтажной арматуры и хомутов рекомендуется использовать гладкую арматуру класса A240 диаметром от 6 до 10 мм.

11.10 Армирование стенок стволов труб следует выполнять двойным - с наружной и внутренней стороны. При соответствующем расчетном обосновании, а также на участках, где выполняется условие  $r/\delta < 10$  ( $\delta$  – толщина



железобетонной стенки;  $r$  – радиус срединной поверхности) допускается только наружное армирование

11.11 Процент армирования горизонтальных и вертикальных сечений ствола следует принимать в соответствии СП 43.13330. Шаг арматурных стержней рекомендуется принимать от 125 до 200 мм, но не более толщины стенки ствола трубы.

11.12 Вертикальная арматура может устанавливаться группами стержней одной длины (групповое армирование), или отдельными стержнями, располагаемыми вразбежку (обычное армирование).

11.13 При двойном армировании - у наружной и внутренней стороны стенки ствола трубы - стыки противоположных групп стержней должны располагаться вразбежку.

11.14 Допустимую температуру применения арматуры, длину анкеровки и перепуска стержней арматуры, стыкуемых внахлестку, расстояния между стыками принимают в соответствии с требованиями СП 63.13330 и СП 27.13330.

11.15 Толщину защитного слоя, расположение стыков вертикальной и кольцевой арматуры следует принимать в соответствии СП 43.13330.

11.16 Для опирания футеровки и конструкций, удерживающих внутренние газоотводящие стволы, следует предусматривать железобетонные консоли с внутренней стороны ствола трубы, которые образуются за счет установки внутренней опалубки под соответствующим углом при бетонировании ствола трубы. Высоту консоли принимают 1250 мм или 2500 мм.

В местах расположения консолей кольцевую арматуру устанавливают с меньшим шагом, чем для остальных участков ствола в соответствии с результатами расчета вертикальных сечений.

11.17 Проемы в железобетонном стволе следует усиливать путем дополнительного армирования по контуру проемов вертикальными, горизонтальными и наклонными стержнями. Суммарная площадь дополнительных вертикальных стержней обрамления проема должна быть не

менее общей площади сечения вертикальных стержней, перерезанных проемом.

Это же требование распространяется на обрамление проема горизонтальными стержнями при высоте проема не более 3,0 м. Длина анкеровки дополнительных вертикальных стержней обрамления проема от 50 до 80 диаметров арматуры, горизонтальных – 80 диаметров арматуры.

При высоте проема более 3,0 м с верхней и нижней его стороны устанавливают дополнительную арматуру в количестве, приходящемся на  $\frac{1}{4}$  высоты проема, но не менее чем на 1,5 м. Дополнительную вертикальную (горизонтальную) арматуру рекомендуется устанавливать в зоне до 0,15 ширины (высоты) проема от его грани.

В углах проемов дополнительно ставятся наклонные стержни под углом  $45^\circ$ , суммарная площадь сечения которых около каждого угла должна приниматься в интервале от 10 до 15 % от площади горизонтальной арматуры обрамления с одной стороны проема. Количество вертикальных и горизонтальных стержней обрамления должно быть не менее 4-х штук с каждой стороны; наклонных стержней не менее 2-х в каждом углу. Схема обрамляющего армирования проема показана на рисунке 6.

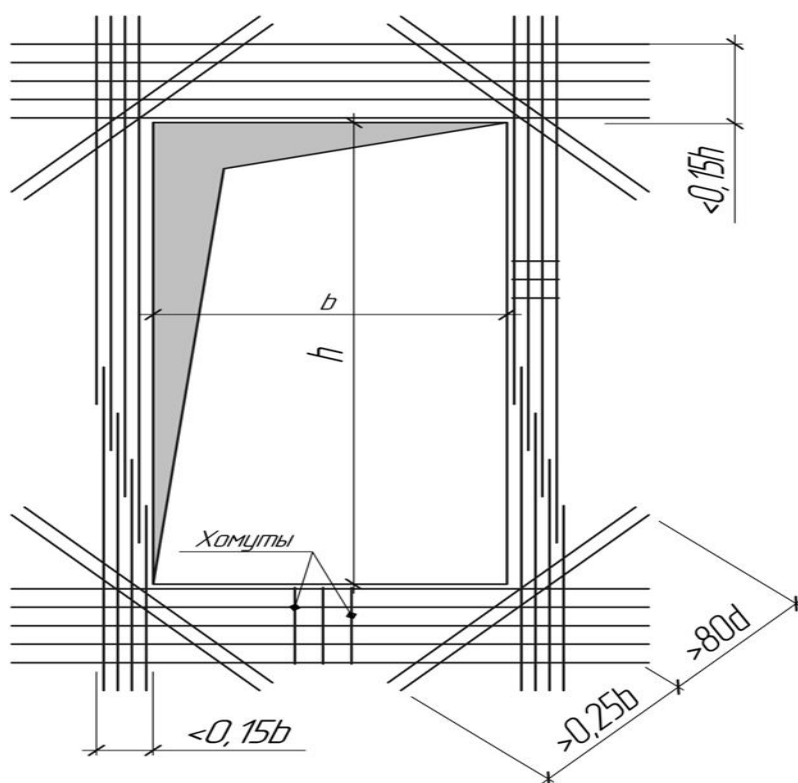


Рисунок 6 Армирование проема дополнительными стержнями

11.18 Для улучшения аэродинамики цокольной части трубы рекомендуется устройство наклонных перекрытий (пандусов), низ которых находится на отметке низа проема для ввода газохода.

При работе тепловых агрегатов на зольном топливе, расчет перекрытия необходимо выполнять с учетом нагрузки от веса золы. В этом случае, в проектной документации, необходимо указывать: на какую нагрузку от веса золы рассчитано перекрытие.

11.19 Крепление металлоконструкций светофорных площадок, балконов лестниц к стволу трубы рекомендуется производить на болтах при помощи дюбелей, закладываемых в стенку ствола при бетонировании. Для крепления этих металлоконструкций допускается использовать распорные и химические анкеры, рассчитанные на соответствующие нагрузки и допускающие динамические воздействия.

Закладные детали в стволе трубы должны располагаться в пределах тела ствола, не выступая за грань опалубки.

11.20 Расчет стволов монолитных железобетонных труб выполняют по обеим группам предельных состояний с учетом требований разделов 6-8 и СП 63.13330. При этом следует учитывать влияние температуры на расчетные сопротивления бетона, стали, на их модули упругости и другие параметры деформируемости железобетона, в соответствии с СП 27.13330.

11.21 Распределение температуры по толщине стенки ствола трубы следует принимать из теплоаэродинамического расчета ствола для летнего (по средней температуре наиболее жаркого месяца) и зимнего (по средней температуре наиболее холодной пятидневки) режимов работы трубы.

11.22 Для расчета железобетонного ствола допускается использование расчетной схемы в виде защемленного в основании консольного стержня кольцевого сечения. Определение изгибающих моментов в горизонтальных сечениях ствола трубы следует определять по деформированной схеме с

вычислением дополнительных изгибающих моментов от собственного веса, вызванных изгибом ствола трубы от воздействия ветровой или сейсмической нагрузки, крена фундамента, одностороннего нагрева солнцем, а также с учетом технологической температуры. При этом следует учитывать физическую нелинейность и повышение деформативности ствола трубы за счет трещинообразования и пластических свойств железобетона.

11.23 Расчет горизонтальных сечений трубы по деформационной модели производят по указаниям СП 63.13330 с учетом дополнительных требований настоящего свода правил.

11.24 При расчете нормальных сечений ствола трубы по деформационной модели (рисунок 7) уравнения принимают в виде

$$M = D_{11} \cdot \frac{1}{r} + D_{13} \cdot \varepsilon_o ; \quad (11)$$

$$N = D_{13} \cdot \frac{1}{r} + D_{33} \cdot \varepsilon_o . \quad (12),$$

где

$M$  – изгибающий момент, определяемый с учетом прогиба ствола трубы от силовых и температурных воздействий.

$\varepsilon_o$  – относительная деформация волокна, расположенного на пересечении выбранных осей (в точке 0);

$\frac{1}{r}$  – кривизна продольной оси в плоскости действия изгибающего момента  $M$ ;

$D_{ij}$  ( $i, j = 1, 3$ ) – жесткостные характеристики, определяемые по формулам:

$$D_{11} = \sum_i A_{bi} \cdot Z_{bi}^2 \cdot E_b \cdot \nu_{bi} + \sum_j A_{sj} \cdot Z_{sj}^2 \cdot E_{sj} ; \quad (13)$$

$$D_{13} = \sum_i A_{bi} \cdot Z_{bi} \cdot E_b \cdot \nu_{bi} + \sum_j A_{sj} \cdot Z_{sj} \cdot E_{sj} ; \quad (14)$$

$$D_{33} = \sum_i A_{bi} \cdot E_b \cdot \nu_{bi} + \sum_j A_{sj} \cdot E_{sj} \cdot \nu_{sj} ; \quad (15),$$

где

$A_{bi}$ ,  $Z_{bi}$ ,  $\sigma_{bi}$  – площадь, координаты центра тяжести  $i$ -го условного участка бетона, на которые условно разбивается сечение, и напряжение на уровне центра тяжести этого участка;

$A_{sj}$ ,  $Z_{sj}$ ,  $\sigma_{sj}$  – площадь, координаты центра тяжести  $j$ -го стержня арматуры и напряжение в нем;

$\nu_{sj}$  – коэффициент упругости  $j$ -го стержня арматуры;

$\nu_{bi}$  – коэффициент упругости бетона  $i$ -го участка.

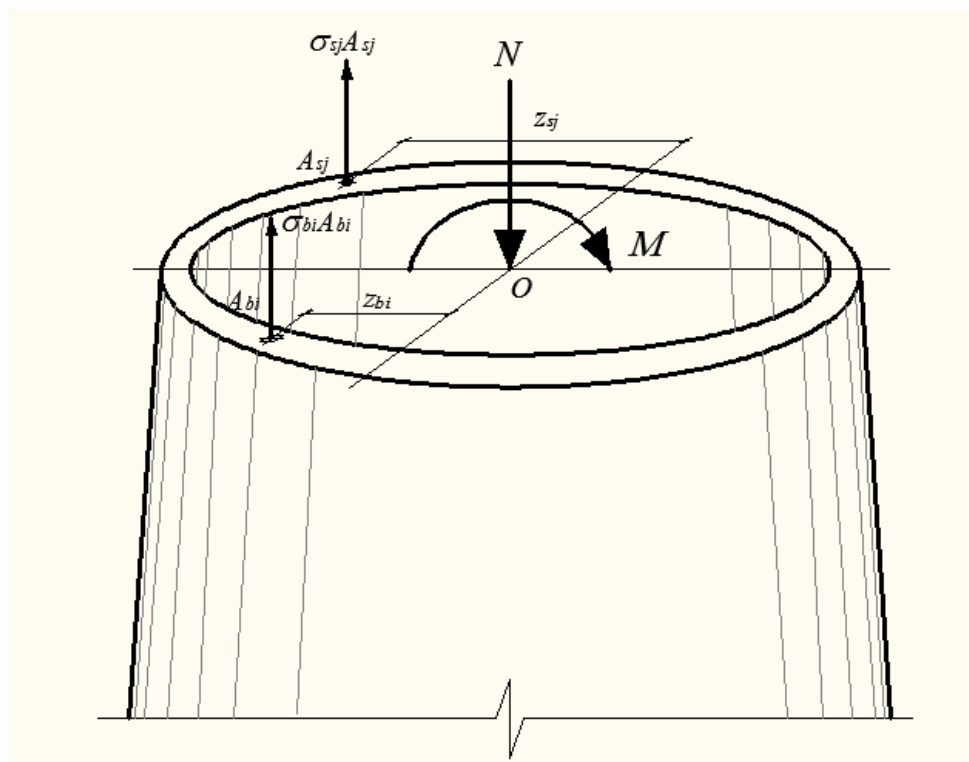


Рисунок 7- Расчетная схема горизонтального сечения ствола трубы.

Значения коэффициентов  $\nu_{sj}$  и  $\nu_{bi}$  определяют по диаграммам состояния арматуры и бетона, принятым в СП 63.13330. При этом значения напряжений и относительных деформаций в базовых точках диаграмм состояния принимают с учетом влияния температуры нагрева бетона и арматуры согласно указаниям СП 27.13330.

Для труб с монолитной футеровкой при расчете ствола по деформационной модели учитывается различие диаграмм состояния бетона ствола и бетона футеровки.

11.25 Расчет горизонтального сечения по прочности производят из условий:

$$\left| \varepsilon_{b,\max} \right| \leq \varepsilon_{b,ult}, \quad \varepsilon_{s,\max} \leq \varepsilon_{s,ult}, \quad (16),$$

где

$\varepsilon_{b,\max}$  — относительная деформация наиболее сжатого волокна бетона в нормальном сечении ствола трубы от внешних нагрузок и воздействий;

$\varepsilon_{s,\max}$  — относительная деформация наиболее растянутого стержня арматуры в нормальном сечении ствола трубы от внешних нагрузок и воздействий;

$\varepsilon_{b,ult}$  — предельное значение относительной деформации бетона при сжатии, принимаемое согласно указаниям СП 27.13330 с учетом температуры нагрева;

$\varepsilon_{s,ult}$  — предельное значение относительной деформации удлинения арматуры, принимаемое согласно указаниям СП 27.13330 с учетом температуры ее нагрева.

Значения коэффициентов  $\nu_{bi}$  для всех условных участков бетона допускается определять по диаграмме состояния бетона с базовыми точками, установленными при средней по высоте сечения стенки трубы температуре его нагрева.

Если при этом условия (16) не выполняются, то значения коэффициентов  $\nu_{bi}$  следует уточнять в зависимости от температуры нагрева  $i$ –го участка бетона, принимаемой в соответствие с установленным расчетом распределением температуры по толщине стенки ствола трубы.

11.26 Расчет горизонтальных сечений ствола выполняют методом последовательных приближений с уточнениями на каждом приближении распределения напряжений во всех расчетных сечениях, кривизны всех расчетных участков, изогнутой оси ствола трубы, значений дополнительных изгибающих моментов, обусловленных собственным весом ствола трубы за счет его изгиба.

11.27 Распределение напряжений в горизонтальных сечениях и определение кривизны расчетных участков рекомендуется производить в соответствии с ВСН 286[2].

11.28 Расчет вертикальных сечений выполняют на действие температурного перепада по толщине железобетонной стенки в соответствии с СП 27.13330.

11.29 Для установления распределения напряжений в бетоне, в арматуре и определения кривизны оси ствола трубы допускается применение деформационной модели с использованием трехлинейной диаграммы деформирования бетона и двухлинейной диаграммы деформирования стали (диаграммы Прандтля), параметры которых рекомендуется принимать по СП 63.13330 и СП 27.13330. Для труб с монолитной футеровкой ствол может рассматриваться как конструкция, составленная из разнородного бетона.

11.30 Параметры ширины раскрытия трещин в растянутой зоне следует принимать в соответствии с 43.13330

## **12 Сборные железобетонные трубы**

12.1 Сборные железобетонные трубы следует проектировать из отдельных цилиндрических царг заводского изготовления. Нижние царги следует проектировать с толщиной стенки больше, чем верхние. Для сопряжения царг с разными диаметрами и с разной толщиной стенки следует предусматривать переходные царги. Соотношение высоты всего ствола или отдельного его участка к своему наружному диаметру должно быть не более 20.

12.2 Габариты царг следует назначать с учетом удобства их транспортирования и монтажа. Толщину несущей железобетонной стенки принимают по расчету, но не менее 100мм.

12.3 Рабочая вертикальная арматура царг выполняется в виде сварных каркасов, каждый из которых состоит из двух стержней, проходящих по всей высоте царги и приваренных на концах к опорным пластинам для шпилек. Горизонтальная арматура царг устанавливается у наружной поверхности стенки

ствола и может проектироваться в виде колец или спирали. Армирование царг должно удовлетворять требованиям, изложенным 11.10-11.14, при этом требование двойного армирования допускается не выполнять.

12.4 Отношение высоты всего ствола или его отдельного участка к своему наружному диаметру должно быть не более 20.

12.5 Соединение царг между собой должно осуществляться на высокопрочных шпильках и болтах. Для соединительных шпилек следует использовать высокопрочные коррозионностойкие стали. Размеры ниш для установки шпилек должны назначаться с учетом возможности затяжки шпилек гаечными и сборочными ключами.

12.6 Для труб высотой до 30 м следует предусматривать не менее десяти шпилек на стык, для труб большей высоты не менее шестнадцати.

12.7 При температуре отводимых газов до 250 °С и использовании в качестве топлива в тепловых агрегатах природного газа, малосернистых углей и мазутов, для изготовления царг рекомендуется применять жаростойкие бетоны класса по прочности не ниже В25 с шамотными заполнителями.

Для дымовых труб, эксплуатируемых при этих температурах, но с использованием высокосернистого топлива, применяют жаростойкий бетон класса не ниже В25 на основе литого шлакового щебня из металлургических шлаков, шлаковой пемзы, портландцемента и тонкомолотой добавки, в качестве которой используют андезитовую муку или молотую шлаковую пемзу.

12.8 При температуре эксплуатации дымовой трубы выше 250°С, а также при наличии конденсата следует предусматривать футеровку или защиту ствола от агрессивного воздействия газов.

12.9 Для защиты раствора в стыках царг, стыковочных шпилек и гаек, а также для улучшения архитектурного облика сооружения, рекомендуется стыки царг с наружной поверхности дымовой трубы закрывать декоративными кольцевыми защитными накладками шириной не менее 300 мм из листового алюминия или из окрашенной с двух сторон листовой стали.



12.10 Для крепления ходовой лестницы к стволу трубы должны быть предусмотрены закладные детали или дюбели, устанавливаемые в стенку царги при её бетонировании.

12.11 Светофорную площадку рекомендуется проектировать из элементов, собирающихся на болтах. Для её крепления к трубе предусматривают стальные опорные пластины, которые устанавливают в стык верхней и предпоследней царг, пропуская шпильку в отверстие опорной пластины.

12.12 Расчет сборных труб следует дополнительно выполнять в соответствии с 11.20 с учетом податливости стыков царг и рекомендаций ВСН 286 [2]. Кроме того при расчетах необходимо рассмотреть расчетные ситуации, соответствующие транспортировке и монтажу царг.

### **13 Кирпичные трубы**

13.1 Кирпичные трубы допускается применять во всех отраслях промышленности для отвода дымовых газов с широким диапазоном температуры отводимых газов.

13.2 Кирпичные трубы следует проектировать для I-IV районов по ветровой нагрузке, армированные кирпичные трубы допускается применять в V-VII районах по ветровой нагрузке.

13.3 Проектирование кирпичных и армокирпичных труб следует выполнять в два этапа:

- конструктивные решения с учетом ранее принятых проектных решений;
- выполнение необходимых расчетов.

13.4 Ствол трубы должен состоять из цоколя, собственно ствола и оголовка.

13.5 Высоту цоколя следует принимать в зависимости от размеров газоходов (в случае наземного ввода газоходов) с учетом архитектурного оформления наружной поверхности трубы.

13.6 Цоколь, как правило, цилиндрической формы, должен заканчиваться ступенчатым карнизом, при этом утолщение стенки на каждом из рядов при устройстве карниза, как правило, принимают в 1/4 кирпича.

13.7 Число проемов в цоколе для ввода газоходов не должно быть более трех в одном сечении, при этом ослабление конструкции должно составлять не более 30% площади сечения.

13.8. Усиление ослабленного сечения необходимо производить за счет пилястр в зоне проемов и армирования кладки. Площадь сечения горизонтальной арматуры при этом должна быть не менее площади сечения стяжных колец на метр высоты трубы.

13.9 Проемы в кладке ствола трубы должны перекрываться полуциркульными арками или железобетонными перемычками. Применение лучковых арок не допускается.

13.10 При определении общей высоты трубы и внутреннего выходного диаметра следует задать уклон в пределах от 1,5 до 4%, высоту поясов от 12 до 24 м.

13.11 Толщину кладки следует принимать с уступами, которые используют для опоры футеровки, уменьшая толщину стен на полкирпича по высоте.

13.12 Статический расчет следует выполнять после определения разбивки ствола трубы по поясам.

13.13 Расчет горизонтальных сечений по несущей способности, а также вертикальных сечений на температурные воздействия должен производиться в соответствии с СП 15.13330, СП 43.13330.

13.14 Эксцентриситет продольной силы, являющейся равнодействующей приложения всех воздействующих на ствол трубы нагрузок в горизонтальном сечении не должен выходить за пределы ядра сечения трубы. Ядро сечения есть площадь, внутри которой должна лежать точка приложения эксцентрической силы, если ставить условие, что напряжения в рассматриваемом сечении должны

быть одного знака, т.е. конструкция должна иметь только напряжение сжатия.

Ядро сечения дымовой трубы рассчитывается по формуле:

$$r=0,125(D^2+d^2)/D, \quad (17),$$

где: D – наружный диаметр сечения, м;

d – внутренний диаметр сечения, м;

r – радиус ядра сечения, м.

13.15 В случае невозможности соблюдения 13.14 следует использовать армокирпичную кладку, в которой вертикальные растягивающие усилия воспринимают арматурные стержни.

13.16 Расчет горизонтальных сечений, ослабленных проемами, необходимо выполнять с учетом изменения положения центра тяжести сечения трубы.

13.17 Расчет вертикальных сечений на температурные усилия, вызванные перепадом температуры по толщине стенки, ствола следует производить с учетом СП43.13330.

13.18 При расчете вертикальных сечений следует учитывать предварительное напряжение затяжки стяжных колец равное 50 Мпа.

13.19 Расчет вертикальных сечений армокирпичных труб следует производить с учетом совместной работы горизонтальной арматуры и стяжных колец.

13.20 Для кладки стволов кирпичных труб следует применять керамический кирпич по ГОСТ 530 с учетом требований СП43.13330.

13.21 Для подъема на трубу следует предусматривать наружные ходовые скобы из круглой стали диаметром от 20 до 30 мм, закладываемые в кладку на глубину 250 мм. Скобы должны устанавливаться с шагом по высоте 375 мм в два вертикальных ряда в разбежку с расстоянием между осями рядов 300 мм.

13.22 Несущие конструкции светофорных площадок следует проектировать в виде консольных балок двутаврового сечения, закладываемых в кладку на глубину не менее 380 мм.

## 14 Стальные трубы

14.1 При выборе схемы устройства и геометрической формы стволов стальных труб необходимо учитывать:

- количество и уровни подводящих газоходов;
- наличие шумоглушителя;
- наличие дождевой заслонки;
- наличие шиберных заслонок;
- наличие дивертора;
- наличие устройств для сбора, выгрузки пылевых отложений
- наличие других технологических устройств.

Принципиальные схемы стальных труб приведены в приложении Б.

14.2 Стыковку элементов несущего ствола трубы следует выполнять фланцевыми соединениями, болтовыми или сварочными.

14.3 Для фланцевых соединений должны применяться высокопрочные болты с их натяжением на заданное усилие. Межцентровое расстояние между болтами должно составлять от  $4d_b$  до  $10d_b$ , где  $d_b$  – диаметр болта. Минимальный диаметр болта должен составлять 16 мм. Расчёт болтового соединения следует выполнять с учётом эксцентриситета нагрузки, передаваемой оболочкой.

14.4 Расчёты конструкций необходимо выполнять в соответствии с СП 16.13330 и СП 20.13330 из условия упругой работы материала. Рекомендуется выполнять расчёты методом конечных элементов с применением моделей, описывающих реальные геометрические параметры конструкций.

14.5 При проектировании стальных труб требуется выполнение расчетов:

- по несущей способности;
- по деформациям;
- по усталости;

14.5.1 Расчет по несущей способности следует выполнять с целью подтверждения отсутствия потери устойчивости оболочки, в результате

действия расчетных нагрузок. Необходимо выполнять проверку оболочки на прочность, а также на общую и местную устойчивость.

14.5.2 Расчет по деформациям следует выполнять с целью определения величины горизонтального перемещения верха дымовой трубы, от действия нагрузок. Предельную величину горизонтального перемещения верха от нормативной ветровой нагрузки необходимо принимать согласно СП 43.13330, при этом для каждого конкретного сооружения должны быть учтены следующие требования:

- технологические (обеспечение условий нормальной эксплуатации подъемно-транспортного оборудования, контрольно-измерительных приборов и т.д.);
- конструктивные (обеспечение целостности футеровки, тепловой изоляции, примыкающих друг к другу элементов конструкций и их стыков);
- эстетико-психологические (обеспечение благоприятных впечатлений от внешнего вида сооружения, предотвращения ощущения опасности).

Рекомендуется предельную величину горизонтального перемещения по эстетико-психологическому требованию указывать в задании на проектирование.

14.6 Если условия эксплуатации трубы требуют наличия проема для отвода дымовых газов, ширина которого превышает две трети диаметра несущей оболочки, допускается установка большего числа меньших проемов, которые в совокупности составят необходимую площадь.

14.7 Проемы в трубах, не усиленные дополнительными ребрами жёсткости, должны быть закруглены по радиусу с минимальным значением  $10 t$ , где  $t$  – толщина оболочки.

14.8 Варианты конструктивного исполнения опорной части стальных дымовых труб, как правило, следует принимать в соответствии с рисунками 8 – 10.

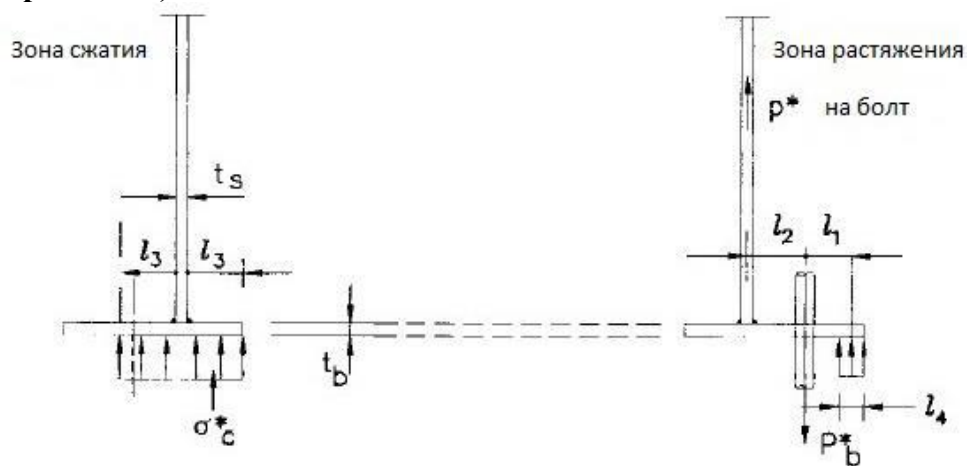


Рисунок 8. Опорная плита

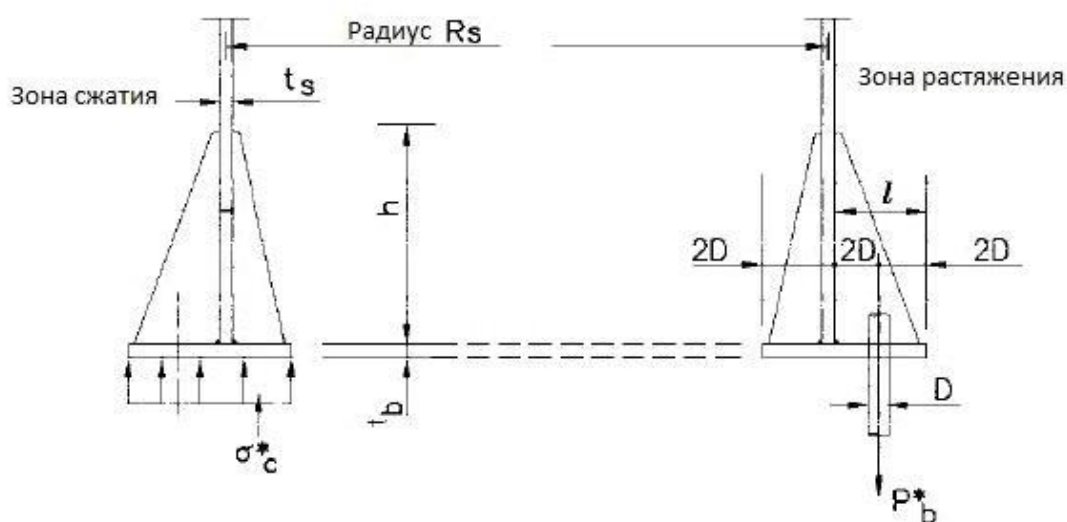


Рисунок 9. Опорная плита с подкрепляющими ребрами

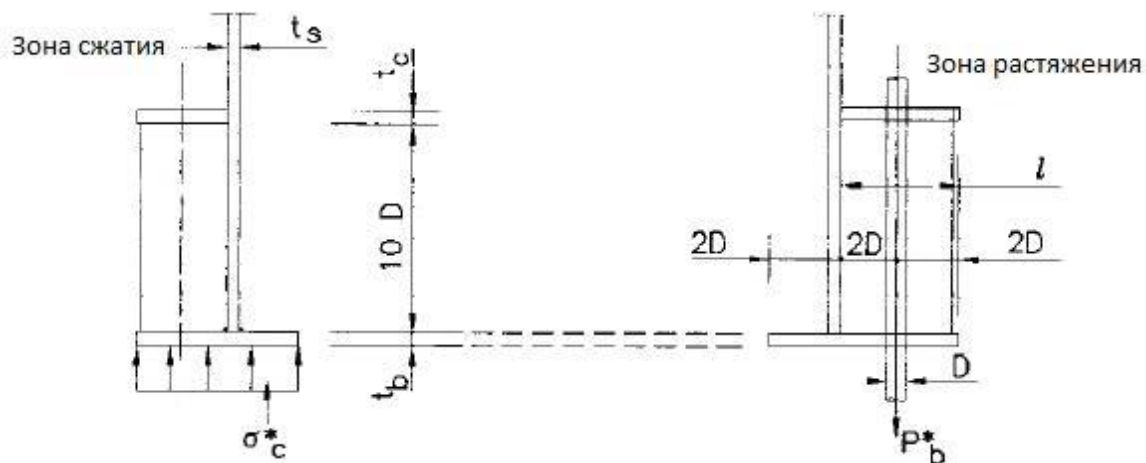


Рисунок 10. Опорная плита с подкрепляющими ребрами и верхней горизонтальной плитой (траверса)

14.9 Выбор материалов элементов конструкций стальных труб следует осуществлять в соответствии с СП 43.13330.

Не рекомендуется использовать нержавеющую сталь мартенситного и ферритного классов (в том числе и с высоким содержанием молибдена) в трубах, отводящих дымовые газы от оборудования, работающего на серосодержащем топливе в условиях средней или высокой химической нагрузки в соответствии с таблицей 8.

Таблица 8 Уровень химической нагрузки

Уровень химической нагрузки	Часы эксплуатации в год, когда температура поверхности, соприкасающейся с отходящими газами, ниже вычисленной кислотной точки росы +10 °C
Низкий	< 25
Средний	25 – 100
Высокий	>100

Примечания:

1 Часы эксплуатации в таблице 8 действительны при содержании  $\text{SO}_3$ , равном 15%. При разном содержании  $\text{SO}_3$ , часы эксплуатации обратно пропорциональны содержанию  $\text{SO}_3$ . Когда содержание  $\text{SO}_3$  неизвестно, допускается принимать его минимальное содержание, достигающее 2% от содержания  $\text{SO}_2$  в отходящих газах.

2 При расчёте часов эксплуатации, в течение которых труба испытывает химическую нагрузку, следует учитывать время начала и окончания работы, когда температура отходящих газов ниже кислотной точки росы.

3 Необходимо учитывать, что небольшие участки могут подвергнуться местному охлаждению и оказаться под влиянием локализованной кислотной коррозии. Местное охлаждение может возникнуть вследствие:

- подсосов воздуха;
- охлаждения ребра фланца, интерцепторов и другой арматуры;
- охлаждения через опорные точки;
- обратной тяги у вершины трубы.

4 Следует учитывать, что присутствие хлоридов и фторидов в конденсате отработанного газа может значительно усилить коррозию. Допускается принимать уровень химической нагрузки низким при условии, что концентрация  $\text{HCl} < 30 \text{ мг/м}^3$  или  $\text{HF} < 5 \text{ мг/м}^3$ , а время работы при температуре ниже кислотной точки росы не превышает 25 часов в год.

5 Независимо от температуры, химическая нагрузка считается высокой, если концентрация галогенов выше, чем:

- для фторида водорода:  $300 \text{ мг/м}^3$  при  $20^\circ\text{C}$  и давлении в 0,1 МПа (1 бар);
- для элементарного хлора:  $1300 \text{ мг/м}^3$  при  $20^\circ\text{C}$  и давлении в 0,1 МПа (1 бар);
- для хлорида водорода:  $1300 \text{ мг/м}^3$  при  $20^\circ\text{C}$  и давлении в 0,1 МПа (1 бар).

6 Следует считать, что условия насыщенных или конденсирующихся дымовых газов системы десульфуризации всегда создают высокую химическую нагрузку.

14.10 При температуре стенки ствола ниже  $65^\circ\text{C}$  и концентрации конденсируемой серной кислоты 5% рекомендуется использовать нержавеющую сталь с высоким содержанием молибдена. Следует учитывать,

что подобные условия, как правило, наблюдаются у вершины (на высоте, равной трём диаметрам) трубы, которая отводит серосодержащие дымовые газы.

Примечания - Наличие газоочистки или присутствие хлоридов в конденсате значительно увеличивают скорость коррозии, из-за чего использование подобной нержавеющей стали нецелесообразно.

14.11 Не допускается использовать нержавеющую сталь мартенситного и ферритного классов при контакте с отходящими газами, содержащими щёлочи.

14.12 Следует учитывать, что при контакте с отходящими газами при переменной конденсации  $\text{SO}_2/\text{SO}_3$  (но не  $\text{HCL}$ ) низколегированная сталь с содержанием меди более устойчива к коррозии по сравнению с углеродистой.

14.13 Не допускается использование низколегированной стали с содержанием меди для атмосферных условий эксплуатации в прибрежной морской зоне, а также любой другой хлоридсодержащей среды.

14.14 Стыки элементов из нержавеющей стали с элементами из углеродистой стали следует выполнять на болтах с применением изолирующих прокладок. Допускается выполнение сварных соединений при условии, что выбор технологии сварки и электрода (сварочной проволоки) обеспечит прочность сварного шва от воздействия нагрузок. Необходимо учитывать температурные расширения в соответствии с маркой и температурой эксплуатации используемых сталей.

14.15 Минимальная толщина несущей оболочки трубы из углеродистой стали должна составлять 5 мм, включая припуск на коррозию.

Припуск на коррозию следует принимать как сумму внешних и внутренних припусков, определяемых по таблицам 9 и 10. Общий припуск необходимо прибавить к толщине оболочки, принятой по результатам расчетов. Припуск на коррозию на всех открытых поверхностях должны иметь как внутренние, так и внешние фланцы. Припуски, данные в таблицах 9 и 10, рассчитаны на 20 лет срока службы трубы. Для более долгих сроков службы припуски на коррозию следует пропорционально увеличить. Для временных труб сроком службы до 1 года допускается значения внешних и внутренних



припусков принять равными нулю, за исключением условий с высокой химической нагрузкой, когда внутренний припуск следует принять равным 3 мм.

Для самонесущих труб со стальными внутренними газоотводящими стволами внутренний припуск на коррозию следует принимать только для газоотводящих стволов.

Таблица 9 Внешний припуск на коррозию

Наименование	Припуск
Окрашенная углеродистая сталь	0 мм
Окрашенная углеродистая сталь под изоляцией	1 мм
Углеродистая сталь без покрытия	3 мм
Сталь «кортен» или аналогичная без покрытия	1 мм
Нержавеющая сталь без покрытия	0 мм

Примечание - Внешний припуск на коррозию указан для неагрессивной и слабоагрессивной окружающей среды. Когда труба находится в агрессивной среде, созданной промышленным загрязнением, соседними трубами или непосредственной близостью к морю, следует увеличить припуск на коррозию.

Таблица 10 Внутренний припуск на коррозию (только для углеродистой стали)

Температура металла при контакте с отработанным газом, °С	Химическая нагрузка	Внутренний припуск на коррозию
< 65	Низкая	Неприменима (химическая нагрузка всегда «высокая») <sup>1)</sup>
	Средняя	Неприменима (химическая нагрузка всегда «высокая») <sup>1)</sup>
	Высокая	припуск на коррозию недопустим, следует использовать другой материал <sup>1)</sup>
65 – 345	Низкая	2 мм <sup>2)</sup>
	Средняя	4 мм <sup>3)</sup>
	Высокая	припуск на коррозию недопустим, следует использовать другой материал <sup>3)</sup>
> 345	Низкая	1 мм
	Средняя	2 мм
	Высокая	припуск на коррозию недопустим, следует использовать другой материал

Примечания:

1 В такой среде необходимо предусматривать защиту поверхности трубы или футеровки, соприкасающейся с потоком газа, например, посредством плакирования соответствующим сплавом с высоким содержанием никеля, титаном или используя подходящее органическое покрытие. Допускается использовать коррозионностойкую сталь с высоким содержанием молибдена с припуском на коррозию 3 мм на срок службы 20 лет при

условии, что концентрация кислоты в конденсате ниже 5%, а концентрация хлорида не превышает 30 мг/м<sup>3</sup>, в пределах указанного температурного диапазона.

2 Следует учитывать, что при низкой химической нагрузке, сталь «Кортен» (аналог стали 10ХНДП по ГОСТ 19281) несколько превосходит углеродистую сталь в плане устойчивости к коррозии, в особенности, при периодическом или кратковременном (например, при регулярных остановках в работе) контакте с конденсирующей SO<sub>2</sub>/SO<sub>3</sub>.

3 Следует учитывать, что в подобной среде нержавеющая сталь мартенситного и ферритного классов (в том числе, и коррозионностойкая сталь с высоким содержанием молибдена) незначительно превосходит углеродистую в плане устойчивости к коррозии, поэтому использование её не целесообразно. Для углеродистой стали, используемой в трубах в условиях высокой химической нагрузки, необходимо предусматривать соответствующее защитное покрытие.

14.16 Стальные трубы с оттяжками следует проектировать с учетом требований СП 43.13330.

14.17 Оттяжки в плане должны располагаться равномерно, с углами между ними 120°(при трех оттяжках в плане) и 90°(при четырех оттяжках). Допускается отклонение от указанных углов в пределах ±15°. Углы наклона к вертикали оттяжек одного яруса должны быть одинаковы; допустимое расхождение допускается в пределах 10%.

14.18 Оттяжки должны быть предусмотрены из круглой стали отдельными звеньями или целиковыми из стальных канатов. Сечение растяжек определяют расчетом, при этом коэффициент условий работы принимают 0,9.

14.19 В местах крепления оттяжек к стволу трубы необходимо устройство усиленных кольцевых поясов. Внизу оттяжки должны крепиться к специальным анкерным фундаментам, верх которых должен быть выше планировочной отметки на 0,5 м.

Допускается крепление оттяжек к несущим конструкциям зданий и сооружений при условии, что эти конструкции будут рассчитаны на дополнительные воздействия нагрузок

14.20 В нижних зонах оттяжек в местах доступных для персонала устанавливают талрепы для регулирования натяжения оттяжек.

Монтажные усилия натяжения оттяжек определяют расчетом и указывают в проектной и рабочей документации для разных температур (минус 40; 0,0; +40°C). Неравномерность натяжения оттяжек одного яруса не должна

превышать 10%, отклонения натяжения от проектных значений не должно превышать 8%.

## **15 Трубы из композиционных материалов**

15.1 Трубы из полимерных композиционных материалов могут быть самонесущие с оттяжками или в поддерживающих каркасах (башнях).

15.2 Трубы, смонтированные внутри железобетонных, кирпичных или металлических стволов следует рассматривать как часть футеровочной системы для защиты несущих конструкций от агрессивных сред. В этом случае труба рассматривается как газотводящий ствол по 17.2.

15.3 Главными критериями при выборе материалов являются:

- прочностные и деформационные характеристики материалов;
- стойкость ствола трубы или газоотводящего ствола к воздействию агрессивных компонентов отводимых газов (в соответствии с режимом работы трубы).

15.4 При выборе композиционных материалов по условиям эксплуатации ствола по температуре, агрессивности отводимых газов, условия устойчивости ко всем предполагаемым механическим, термическим и химическим воздействиям в течение запланированного срока службы следует руководствоваться СП 43.13330.

15.5 В проектной документации необходимо указывать характеристики принятых материалов в направлении по образующей и в кольцевом направлении в соответствии с гарантированными показателями технических условий предполагаемого изготовителя:

- прочность при растяжении;
- прочность при изгибе;
- теплостойкость по Мартенсу;

15.6 При проектировании конструкций следует применять связующие, основанные на полиэфирных, фенолформальдегидных, эпоксидных смол, их модификациях и компаундах.

15.7 Полиэфирные бисфенол-А-фумаровые смолы допускается применять в агрессивной кислотной и щелочной среде отводимых газов. Применение их в агрессивной окислительной среде или среде с использованием растворителя не допускается.

15.8 Полиэфирные хлорэндиковые смолы допускается применять в агрессивной окислительной среде, а также в среде концентрированных кислот и некоторых растворителей. Применение их в щелочной среде не допускается.

15.9 Фенолформальдегидные смолы могут применяться для конструкций с высокой огнестойкостью и характеризуются низкой токсичностью.

15.10 Эпоксивинилэфирные смолы на основе бисфенола-А и новолака допускается применять в среде кислот, щелочей и многих растворителей.

Для повышения огнестойкости конструкций следует применять связующие на основе бромированных эпоксивинилэфирных смол.

15.11 В качестве армирующего материала в конструкциях следует использовать стекловуаль, стекловолокно, стеклоровинг, в том числе рубленый, стеклоткань, стеклорогожу, стекломаты, арамидные, керамические, углеродные волокна, металлические сетки, а также базальтовое волокно.

15.12 В условиях высокой химической агрессии допускается применение фаолита, и листовых термопластов: поливинилхлоридного пластиката, винипласта, полиэтилена, полипропилена, пентопласта и фторопласта.

15.13 В проектной документации следует принимать изготовление конструкций из нескольких слоев (ламинатов), как минимум из двух:

- коррозионностойкий барьер;
- несущий слой.

15.15 Коррозионностойкий барьер включает внутреннее покрытие и внутренний слой. Внутренний слой рекомендуется выполнять из стекломатов из рубленых волокон, пропитанного смолой до 75% по массе. Рекомендуется добавлять в смолу до 20% графита, если предполагается температура

эксплуатации выше 145°C. Кроме того, возможно применение конструкции стенки с внутренним теплоизоляционным или сотовым наполнением

15.15.1 В зависимости от требований к химической стойкости, допускается использование углеродных тканей в качестве наполнителя в коррозионностойком барьере.

15.15.2 Допускается использование листовых термопластов в качестве коррозионностойкого барьера.

15.16 Для конструкций работающих в условиях сильноагрессивных химических, сред рекомендуется применять связующее на основе смол, используемых для коррозионностойкого барьера. Для других конструкций допускается применение связующего на основе менее химически стойких смол.

15.17 В случае изготовления структурного ламината методом ручного формования следует использовать армирующий мат с рубленными волокнами весом на единицу поверхности не более 600 г/м<sup>2</sup>.

15.18 При изготовлении структурного ламината методом намотки должна применяться ровинговая стеклоткань с погонным от 1200 до 2400 г/м и весом на единицу поверхности не более 1200 г/м<sup>2</sup>.

15.20 Толщина структурного ламината должна быть не менее 3 мм или  $D/1000$ , где  $D$  – внутренний диаметр цилиндрической оболочки.

Следует избегать резких изменений толщины ламината. Сужение между участками различной толщины не должно быть более 1/6.

15.21 В состав структурного ламината допускается включать дополнительные армирующие элементы и теплоизоляционные изделия. В случае включения теплоизоляции в состав структурного ламината, его наружный слой, защищенный от воздействия температуры и химической агрессии, допускается выполнять с использованием низкотемпературных смол.

Снаружи структурного ламината следует наносить финишное покрытие толщиной не менее 0,6 мм с целью защиты от внешних воздействий и придания эстетичного внешнего вида.

15.22 В процессе проектирования следует выполнять проверку пригодности выбранных материалов для заданных условий эксплуатации. Проверка должна быть основана на результатах лабораторных испытаний. Рекомендуются поведение испытаний в реальных условиях эксплуатации, либо использовать результаты прежних испытаний.

15.23 В проектной документации должна быть приведена информация об условиях постотверждения для изготавливаемых конструкций, которая должна содержать меры, обеспечивающие сохранность линейных размеров конструкции при возможной тепловой деформации.

15.24 При проектировании труб из стеклопластика должны учитываться следующие механизмы коррозии:

- физическое разрушение (впитывание, проникновение, действие растворителей и т.д.);

- окисление (разрушение химических связей);

- гидролиз (разрушение соединений эфира);

- термальный распад, включая деполимеризацию);

- диффузия солей;

- комбинация вышеперечисленных воздействий.

15.25 При проектировании необходимо учитывать, что в процессе эксплуатации конструкции из стеклопластика могут дать объемную усадку или температурный рост.

Объемная усадка может составлять от 0,05 до 0,1%. Величину температурного роста следует определять по температуре эксплуатации.

15.26 Во избежание резонанса при совпадении частоты турбулентности дымовых газов с собственной частотой колебания стеклопластиковой оболочки следует принимать в качестве критерия овализации минимальную частоту 2 Гц.

15.27 Работа стеклопластиковых газоотводящих стволов в условиях избыточного статистического давления, как правило, не допускается. При наличии в стволе избыточного давления наличие внутреннего

коррозионностойкого защитного слоя обязательно. Для устранения избыточного давления может быть использован диффузор на оголовке ствола.

15.28 Дымовые трубы, работающие в условиях влажных химически агрессивных сред, должны быть оснащены системой дренажа.

Рекомендуется устанавливать сливные желоба в районе верхней и боковых стенок в месте врезки подводящего газохода. Выше врезки подводящего газохода желоб утраивают по всей окружности ствола.

В случае высокой скорости отводимых газов используют желоб по всей окружности у верха ствола, с организацией отвода конденсата в систему дренажа к основанию.

15.29 С целью предотвращения значительного выброса конденсата скорость в стволе следует принимать не более 18 м/сек.

15.30 Допускается применение стеклопластиковых конструкций снаружи верхней части несущего ствола трубы для защиты от окутывания дымовыми газами.

15.31 Для исключения потери устойчивости цилиндрической оболочки, в том числе с проемами, при эксплуатации, а также в процессе транспортирования и монтажа, могут предусматриваться горизонтальные кольцевые и вертикальные ребра жесткости из стеклопластика.

Ребра могут быть цельными, полыми, а также заполненными различными материалами (пенопласт, полиуретан и пр.).

Допускается применение стальных кольцевых ребер в случае обеспечения антикоррозийной защиты и температуры эксплуатации не более 60°C.

Все ребра жесткости должны быть полностью прикреплены к оболочке.

15.32 Рекомендуется ширину проемов в цилиндрической оболочке принимать не более  $0,8R$ , где  $R$  – внутренний радиус оболочки.

15.33 Монтажные стыки царг труб между собой следует проектировать, как правило:

- раструбными;
- фланцевым;
- штифтовыми;
- в стык с наружным и внутренним бандажным кольцом;
- в стык на фланцах;
- шпилечными.

15.34 Проектирование опорных элементов необходимо выполнять из условий отсутствия недопустимых напряжений в точках сопряжения элементов конструкций и допустимых деформаций.

15.35 При проектировании необходимо также указывать:

- способ изготовления ствола (намотка, контактное формование, напыление);
- тип применяемого стеклонаполнителя;
- содержание по массе применяемого стеклонаполнителя;
- режим термообработки;
- коэффициент линейного температурного расширения - справочный показатель.

15.36 В проектной документации необходимо приводить техническую характеристику конструкций газоотводящих стволов, содержащую следующие сведения:

- климатические и сейсмические воздействия, принятые при расчетах, коэффициенты надежности;
- допускаемые параметры температурно-влажностных, газовых и аэродинамических режимов работы трубы (температуру, влажность, объем отводимых газов, показатели, характеризующие агрессивность среды и т.д.);
- расчетный срок службы газоотводящих стволов.

15.37 Элементы стволов (царги и скорлупы), как правило, выполняют методом намотки путем контактного формования (ручной укладкой или напылением) либо сочетанием этих двух технологических приемов.



При размерах элементов, превышающих транспортный габарит, их допускается выполнять сборными с устройством продольных стыков на продольных наружных фланцах, либо с накладками по линии сопряжения. Негабаритные изделия могут также изготавливаться непосредственно у места монтажа с помощью мобильных комплексов.

15.38 Полимерная матрица для изготовления газоотводящих стволов в зависимости от условий их эксплуатации должна основываться, как правило, на эпоксидных, фенолформальдегидных смолах, их модификациях и компаундах. Возможно применение других видов смол при соответствующем обосновании.

15.39 Тип матрицы и армирующего наполнителя выбирают в зависимости от требуемой теплостойкости, химстойкости и требуемых механических свойств материала газоотводящего ствола из композиционных материалов.

15.40 При проектировании материал защитного слоя выбирают для условий воздействия среды по шкале химстойкости как «стойкий», а материал конструкционного слоя – не ниже чем «ограниченно стойкий».

15.41 За нормативное сопротивление полимерного композита принимается минимальное значение прочности по техническим условиям на изделие из полимерного композита или иной документации с обеспеченностью не менее 0,95, а за нормативное значение модуля упругости и модуля межслойного сдвига принимаются его гарантированные средние значения.

15.42 Расчетные сопротивления полимерных композитов  $R$ , МПа, вычисляются по формуле

$$R = \frac{R_n}{\gamma_m} k_{\tau\tau} \gamma_d, \quad (18),$$

где

$R_n$  – нормативное сопротивление;

$\gamma_m$  – коэффициент надежности по материалу;

$k_{\tau\tau}$  – температурно-временной коэффициент прочности;

$\gamma_d$  – коэффициент условий работы, учитывающий степень

агрессивности среды.

15.43 Расчетный модуль деформаций полимерных композитов  $E$ , МПа, вычисляют по формуле

$$E = \frac{E_n}{\gamma_m} n_{tt}^E \gamma_d, \quad (19),$$

где

$E_n$  – нормативный модуль упругости, МПа;

$n_{tt}^E$  – температурно-временной деформационный коэффициент.

15.44 Расчетный модуль межслойного сдвига полимерных композитов  $G$ , МПа, вычисляется по формуле

$$G = \frac{G_n}{\gamma_m} n_{tt}^G \gamma_d, \quad (20),$$

где

$G_n$  – нормативный модуль межслойного сдвига, МПа;

$n_{tt}^G$  – температурно-временной деформационный коэффициент модуля межслойного сдвига.

Значения коэффициентов  $k_{tt}$ ,  $\gamma_d$ ,  $\gamma_m$ ,  $n_{tt}^E$ ,  $n_{tt}^G$  принимают по техническим условиям на изделие из полимерного композита или иной документации.

15.45 При расчете стволов по первой группе предельных состояний следует проверять:

- прочность стенки ствола по нормальным напряжениям;
- прочность подкрепляющих стенку элементов (кольцевых ребер, бандажей) по нормальным напряжениям и на сдвиг по касательным напряжениям в зонах опирания или подвески газоотводящего ствола к несущим конструкциям;
- прочность узлов соединения между собой царг и других конструктивных элементов газоотводящего ствола;
- устойчивость стенки и устойчивость кольцевых ребер жесткости при действии разрезания внутри газоотводящего ствола.

15.46 Расчет конструктивных слоев элементов газоотводящих стволов на прочность по нормальным напряжениям допускается производить на расчетные сочетания напряжений отдельно для осевого и кольцевого направлений.

15.47 При расчете на действие нагрузок разной продолжительности возникающие от них напряжения допускается приводить к эквивалентным кратковременным, используя температурно-временные коэффициенты прочности и принимая условие прочности материала в виде:

$$\sum_{i=1}^n \frac{\sigma_i}{k_{tt}^i} \leq \frac{R_n}{\gamma_m \gamma_n} \gamma_d, \quad (21),$$

где

$\sigma_i$  – нормальное напряжение под номером  $i$  в расчетном сочетании напряжений, МПа;

$k_{tt}^i$  – соответствующий напряжению  $i$  температурно-временной коэффициент прочности;

$R_n$  – нормативное сопротивление материала растяжению или сжатию, МПа;

$\gamma_d$ ,  $\gamma_m$ ,  $\gamma_n$  – коэффициенты условий работы, надежности по материалу и надежности по ответственности соответственно.

Примечание – При знакопеременной эпюре напряжений по толщине стенки в качестве  $R_n$  может приниматься нормативное сопротивление изгибу.

Суммирование в левой части формулы (21) распространяется на все напряжения, входящие в рассматриваемое сочетание напряжений.

15.48 Расчет труб с газоотводящими стволами следует выполнять как единой системы «несущая конструкция – газоотводящий ствол». Самонесущий ствол допускается рассматривать как стержень кольцевого сечения, заземленный, либо шарнирно закрепленный в точке опирания и соединенный горизонтальными связями с несущей конструкцией. В случае если внутренний ствол не раскреплен с внешним стволом, стволы такой трубы допускается рассчитывать по отдельной схеме, без учета их взаимовлияния.

## **16 Трубы в поддерживающих каркасах**

16.1 Проектирование поддерживающих каркасов (башен) следует выполнять с учетом требований СП 16.13330, СП 20.13330 и СП 43.13330.

16.2 Габаритные размеры несущего каркаса определяют ветровыми и сейсмическими нагрузками в зоне строительства, а также технологическими параметрами, к которым относятся:

- общая высота трубы;
- количество и диаметры газоотводящих стволов;
- отметка верхней площадки обслуживания;
- отметки подводящих газоходов;
- габарит сооружения в основании из условия размещения его на генплане.

16.3 В соответствии с геометрическими и конструктивными схемами несущие башни труб классифицируются по следующим характеристикам:

- по количеству граней – трех-, четырех- и многогранные;
- по конфигурации башни – без переломов граней по высоте и с переломами граней;
- по схеме решетки – с крестовой, ромбической, раскосной и треугольной решеткой.

Как правило, несущую башню следует проектировать в виде сочетания верхней призматической и нижней пирамидальной частей.

16.4 Наименьший габаритный размер несущего каркаса в его основании, размеры верхних сечений каркаса, ширину проходов следует принимать в соответствии с СП 43.13330.

16.5 При критических скоростях ветра, вызывающих резонансное вихревое возбуждение, элементы башни необходимо дополнительно рассчитывать на накопление усталостных напряжений.

16.6 При назначении марок сталей для башен, относящихся к сооружениям повышенного уровня ответственности, номер группы конструкций,

определенный по СП 43.13330, следует уменьшить на единицу (для групп 2-4). При толщине проката более 40 мм номер группы конструкций следует уменьшить на единицу (для групп 2-4), а при толщине проката 6 мм и менее – увеличивать на единицу (для групп 1-3).

16.7 При расчете раскосов и распорок в узлах перелома поясов башни, необходимо учитывать зональное действие ветра (возможен спад ветровой нагрузки) в соответствии с приложением А.

16.8 Крепление опорных конструкций башни к фундаментам осуществляется с помощью анкерных болтов, количество, конструкция и сечение которых определяют расчетом.

В случае конструктивного объединения анкеров в анкерную группу общей плитой (кольцом) допускается уменьшать расстояния между анкерами и глубину их заделки в бетон по результатам расчета на вырывание всей анкерной группы.

Крепление опорных конструкций башни к фундаментам осуществляется с помощью анкерных болтов, количество, конструкция и сечение которых определяют расчетом.

Расчет анкерных болтов несущих каркасов выполняют в соответствии с СП 43.13330.

## **17 Футеровочные системы**

### **17.1 Общие указания**

17.1.1 Несущие конструкции дымовых труб следует защищать от агрессивного и температурного воздействия путем устройства футеровочной системы, которая может быть в виде:

- футеровки из керамических, кислотоупорных и огнеупорных изделий;
- защитного слоя бетона (тяжелого, легкого, жаростойкого, кислотоупорного), нанесенного на внутреннюю поверхность несущего ствола трубы;

- устройство внутри несущего ствола газоотводящего ствола (стволов) из стальных, композиционных материалов или керамических(бетонных) изделий с пространством для обслуживания или без него.

17.1.2 В проектной документации труб с керамической, бетонной и стеклопластиковой футеровкой, должен быть указан температурный график вывода трубы на рабочий режим.

17.1.3 Допускается предусматривать заполнение пространства между несущим стволом и внутренним газоотводящим стволом минеральной ватой, вспученными минералами или другим изоляционным материалом. В случае применения в качестве изоляционного материала вспученных минералов, необходимо обеспечить отсутствие пустот или проемов в несущем стволе или футеровки трубы, через которые может произойти утечка материала.

Следует определить место для отводного канала в самой нижней точке зоны с засыпным материалом, для того чтобы обеспечить возможность его извлечения, если возникнет необходимость осуществить доступ к внутреннему пространству трубы. На наружную сторону дымовой трубы необходимо поместить таблички, предупреждающие, что труба заполнена засыпной теплоизоляцией.

17.1.4 При использовании засыпной изоляции на основе вспученного перлита или вермикулита, в проектной документации трубы следует указать на необходимость восполнения образовавшихся пустот в межтрубном пространстве вследствие уменьшения объема материалов до 10% за период времени от 6 месяцев до года. В отдельных случаях, по истечении еще одного года эксплуатации, может потребоваться повторное восполнение засыпного материала.

17.1.5 Допускается проектирование труб с засыпной изоляцией из керамзита одной фракции с виброуплотнением и готовых заводских секций (царг) без последующего восполнения теплоизоляции.

17.1.6 Необходимо использовать защитное покрытие в случаях высокой химической нагрузки на внутреннюю поверхность несущего металлического ствола трубы. Допускается использовать металлическую футеровку из титана или стали с высоким содержанием никеля.

17.1.7 Конструкция футеровки дымовых труб с вентилируемым зазором должна обеспечивать пропуск вентиляционного воздуха по всей высоте трубы и выход его из вентилируемого зазора в верхней части трубы.

17.1.8 Для дымовых труб с газопроницаемыми внутренними стволами и стволами с компенсаторами необходимо обеспечить естественную вентиляцию межтрубного пространства, при этом температура в межтрубном пространстве при эксплуатации должна быть не более 40°C.

17.1.9 Для защиты от атмосферных осадков межтрубное пространство должно иметь кровлю с ограждением с возможностью выхода на неё для осмотра и обслуживания газоотводящего ствола.

В межтрубном пространстве должна быть предусмотрена система вентиляции. Допускается естественная вентиляция через жалюзийные решетки в нижней части ствола трубы и вентиляционные проемы в верхней части.

17.1.10 Необходимо предусматривать пути эвакуации людей из межтрубного пространства в случае возникновения аварийных ситуаций, в том числе эвакуацию на наружные балконы и световые площадки через аварийные выходы. Аварийные выходы из межтрубного пространства должны предусматриваться не реже чем через 45 м по высоте трубы.

Для обслуживаемого межтрубного пространства ширина прохода должна составлять не менее 750 мм.

## **17.2 Газоотводящие стволы**

### **17.2.1 Общие требования**

17.2.1.1 Газоотводящие стволы могут применяться из следующих металлических и неметаллических материалов:

– обычных углеродистых сталей (с защитным покрытием или без него);

- низколегированных сталей различных марок;
- высоколегированных коррозионностойких (нержавеющих) и жаростойких сталей различных марок;
- титана и его сплавов;
- алюминия и его сплавов;
- полимерных композитных материалов;
- штучных керамических или бетонных изделий.

17.2.1.2 По конструктивной схеме газоотводящие стволы могут быть:

- самонесущими, опирающимися на фундамент трубы, свой собственный фундамент (опору), либо на рабочую площадку-диафрагму в нижней части несущего ствола (каркаса);
- подвесными, с разделением и без разделения по высоте на секции, каждая из которых опирается на несущий ствол (несущий каркас) через рабочие площадки-диафрагмы, либо подвешивается к ним;
- комбинированной схемы, с нижней самонесущей частью и верхней подвесной;

17.2.1.3 Для обеспечения устойчивости стволы могут иметь горизонтальные связи, соединяющие их с несущим стволом (каркасом). Конструкция связей не должна препятствовать температурным деформациям газоотводящего ствола, как в вертикальном, так и в радиальном направлении.

Зазор между внутренним столом и горизонтальной опорой рекомендуется принимать равным от 3 до 6 мм.

При проектировании внутреннего газоотводящего ствола следует предусматривать нагрузки, создаваемые горизонтальными опорами из-за перемещений наружного несущего ствола.

17.2.1.4 Секции подвесного газоотводящего ствола должны соединяться через компенсаторы, обеспечивающие свободное удлинение секций ствола за счет его нагрева.



Компенсаторы должны быть газонепроницаемыми, коррозионностойкими и температуростойкими. Как правило, стыки секций подвесного газоотводящего ствола должны располагаться на высоте от 0,5 до 1,5 м над рабочими площадками для удобства их монтажа, возможности обслуживания и ремонта компенсаторов.

17.2.1.5 Секции подвесных стволов при расчете допускается рассматривать как стержни кольцевого сечения или оболочки, шарнирно соединенные с рабочими площадками–диафрагмами и узлами подвеса. Соединение секций между собой допускается моделировать горизонтальными связями.

17.2.1.6 Газоотводящие стволы необходимо рассчитывать так же на возможную потерю устойчивости стенки ствола за счет внутреннего разрежения, действия собственного веса и ветровой нагрузки (для стволов в решетчатых башнях), учитывая при этом влияние технологического нагрева на модуль упругости материала стволов.

17.2.1.7 Площадь сечения внутреннего газоотводящего ствола следует назначать из условия минимальных скоростей дымовых газов 5 м/с внутри него и 7 м/с на выходе из устья.

17.2.1.8 При выборе внутреннего химически стойкого покрытия необходимо учитывать максимальную температуру, которой оно будет подвергаться как в мокром, так и в сухом состоянии.

Необходимо использовать только те покрытия, которые способны сохранять свои защитные свойства в условиях высоких температур на протяжении всего срока эксплуатации дымовой трубы.

Свойства расширения выбранного в качестве покрытия материала должны быть совместимыми со свойствами расширения оболочки в пределах соответствующего диапазона температур.

17.2.1.9 Проектирование химически стойких покрытий из пластика и стеклопластика допускается в случае максимальной температуры на их

поверхности не более 80°C для эпоксидных смол, и не более 60 °C для полиэфирных смол.

Необходимо обеспечить плотную адгезию таких покрытий к внутренней стороне оболочки дымовой трубы в целях предотвращения образования трещин или сколов на поверхности. Применение данных покрытий в условиях избыточного статического давления дымовых газов не допускается.

#### **17.2.2 Металлические газоотводящие стволы**

17.2.2.1 Классы и марки углеродистых и низколегированных сталей для всех элементов газоотводящих стволов должны назначаться в соответствии с СП 16.13330 как для конструкций 3-ей группы. Применение данных сталей допускается при температуре нагрева ствола трубы не выше 400°C.

Допускается увеличивать толщину стенок газоотводящих стволов в запас на коррозионный износ на 2–4 мм по сравнению с необходимой толщиной по условиям прочности и устойчивости, особенно в зоне окутывания, подвергающейся наибольшей коррозии.

17.2.2.2 Минимальная толщина стенки газоотводящего ствола составлять не менее 3 мм для углеродистой стали и 1,5 мм для нержавеющей стали без учета припуска на коррозию.

17.2.2.3 Деление оболочки газоотводящего ствола на отправочные элементы и соответственно установление количества и вида монтажных стыков определяют технологией изготовления, способом и средствами транспортирования и условиями монтажа газоотводящего ствола.

17.2.2.4 Рекомендуются следующие типы монтажных соединений газоотводящего ствола:

- сварка встык;
- сварное соединение на накладках;
- сварное соединение на полубандажах;
- фланцевое соединение на болтах.

17.2.2.5 При использовании коррозионностойких и жаростойких сталей в газоотводящих стволах необходимо исключить прямой контакт конструкций и деталей из этих сталей с элементами из углеродистых или низколегированных сталей из-за электрохимической коррозии несущих конструкций.

17.2.2.6 Применение алюминия и его сплавов ограничено температурой 80–100°C, выше которой ухудшаются его прочностные свойства. Необходимо также иметь в виду, что при контакте со сталью коррозия алюминия сильно увеличивается и требуется исключить прямой контакт между ними.

17.2.2.7 Титан и его сплавы нестойки в плавиковой кислоте и в сухом хлоре, поэтому данные виды металла (сплавов) рекомендуется использовать при температуре не выше 350°C. В противоположность алюминию титан при контакте со сталью не корродирует, но при этом сама сталь подвергается коррозионному разрушению, поэтому требуется исключать прямой контакт между ними.

17.2.2.8 Не допускается применение внутренних газоотводящих стволов из незащищенной углеродистой стали для эксплуатации в условиях высокой химической нагрузки при низких температурах. В условиях низкой или средней химической нагрузки допускается использование внутренних припусков в соответствии с таблицей 10.

17.2.2.9 В условиях высокой химической нагрузки допускается использование внутренних газоотводящих стволов из сплавов с высоким содержанием никеля, титана, других стойких металлов или использование плакированных сталей с защитным покрытием из вышеперечисленных материалов.

17.2.2.10 Для внутренних стальных газоотводящих стволов, как правило, следует предусматривать тепловую изоляцию. Конструкция изоляции должна позволять поддерживать температуру поверхности, с которой соприкасаются отходящие газы при заданных условиях эксплуатации, выше температуры точки росы.

Следует учитывать, что любая теплоизоляция не будет эффективной, если температура отходящих дымовых газов равна или меньше температуры кислотной точки росы.

Следует принимать расчетное значение температуры кислотной точки росы как теоретическое значение, вычисленное с учетом содержания серы и избыточного воздуха для горения, увеличенное на 10°C.

Если для определения теоретической температуры кислотной точки росы отработанного газа недостаточно данных, допускается принять следующие значения минимальной температуры металла, с которым соприкасаются отходящие газы:

- 175°C, если горючее вещество представляет собой нефть и/или газ с массовой концентрацией серы более 0,5%;
- 135°C, если горючее вещество представляет собой уголь с массовой концентрацией серы более 0,5%;
- 100°C, если массовая концентрация серы в горючем менее 0,5%.

### **17.2.3 Газоотводящие стволы из композиционных материалов**

17.2.3.1 В качестве основы для газоотводящих стволов из композиционных материалов, применяют в основном стеклокомпозиты, защитные слои которых могут выполняться также из углекомпозита или органокомпозита.

17.2.3.2 Температура применения газоотводящих стволов из композиционных материалов должна соответствовать СП 43.13330.

17.2.3.3 Расчет газоотводящих стволов, подбор материалов и другие указания при проектировании конструкций из композиционных материалов приведены в разделе 15.

### **17.3 Монолитные железобетонные трубы**

17.3.1 Выбор футеровки для монолитных железобетонных труб определяют в зависимости от следующих параметров:

- технико-экономические показатели;
- температура отводимых газов;

- наличие агрессивной среды;

17.3.2 Для защиты несущего ствола монолитных железобетонных труб, как правило, используют:

- футеровка керамическим полнотелым кирпичом пластического прессования на цементно-глиняном или кислотоупорном растворе;
- футеровка кислотоупорным кирпичом на кислотоупорном растворе;
- футеровка шамотным кирпичом на цементно-шамотно-глиняном растворе;
- футеровка монолитная из легкого жаростойкого бетона в соответствии с ГОСТ 25192;
- иные виды защиты.

17.3.3 Высоту звеньев и толщину кирпичной футеровки определяют в соответствии с СП 43.13330.

Примыкание звеньев футеровки необходимо осуществлять с перепуском нижнего звена по отношению к верхнему с учетом возможности свободного «роста футеровки». Вертикальный зазор между звеньями футеровки заполняют хризотилowym шнуром либо иными герметизирующими материалами. Сверху зазор между звеньями футеровки перекрывают слезниковыми поясами из фасонной керамики либо карнизами.

17.3.4 Для возможности температурного расширения футеровки по радиусу между футеровкой и железобетонным стволом следует предусматривать зазор шириной не менее 50 мм.

Для уменьшения температурного перепада по толщине ствола и футеровки зазор может быть заполнен тепловой изоляцией из минераловатных плит, диатомитового кирпича, известково-кремнеземистых плит и других эффективных теплоизоляционных материалов.

Теплоизоляционный материал должен выдерживать максимальную проектную температуру, агрессивное воздействие отводимых газов и быть защищенным от влаги.

Для предотвращения осадки теплоизоляционного материала следует предусматривать противоосадочные пояса в виде выпусков кирпича футеровки. Допускается крепление теплоизоляционных плит к железобетонному стволу с помощью анкеров и других удерживающих устройств.

17.3.5 Толщину тепловой изоляции определяют теплотехническим расчетом, при этом нагрев бетона ствола не должен превышать 200°C, фундамента – не выше 250°C.

Для обеспечения трещиностойкости кирпичной футеровки температурный перепад по ее толщине не должен превышать 80°C.

17.3.6 Конструкция футеровки дымовых труб с вентилируемым зазором должна обеспечивать пропуск вентиляционного воздуха по всей высоте трубы и выход его из вентилируемого зазора в верхней части трубы.

17.3.7 Для монолитных футеровок следует использовать легкий цементный бетон для слабоагрессивных сред и легкий силикатный бетон для среднеагрессивных сред со следующими характеристиками:

- марка по плотности не выше D1600;
- марка по водонепроницаемости от W8 до W10;
- коэффициент теплопроводности от 0,46 до 0,58 Вт/(м°C);

При температуре газов выше 200°C для монолитных футеровок допускается использовать жаростойкие бетоны с маркой по плотности от D1100 до D1600 и соответствующего класса по предельно допустимой температуре применения.

Толщину монолитной футеровки определяют теплотехническим расчетом, но не менее 120 мм.

17.3.8 Армирование монолитных футеровок осуществляют отдельными горизонтальными и вертикальными стержнями в соответствии с указаниями СП 27.13330. При соответствующем обосновании может быть использована стеклопластиковая арматура.

17.3.9 Для повышения теплоизолирующих свойств и уменьшения температурных усилий в несущем железобетонном стволе допускается между монолитной футеровкой и железобетонным стволом устраивать прослойку из жестких теплоизоляционных изделий.

#### **17.4 Кирпичные трубы**

17.4.1 Для кирпичных труб футеровочная система должна соответствовать следующим требованиям:

- высоту звеньев футеровки из кирпича следует принимать по СП 43.13330.
- при температуре отводимых газов от 100 до 250°С между стволом и футеровкой следует предусматривать воздушный зазор 50мм.
- при температуре отводимых газов менее 100°С футеровка должна быть выполнена вплотную к стволу и, как правило, ее следует защитить слоем торкрет бетона толщиной от 25 до 30мм.
- при температуре отводимых газов от 250° до 500°С вместо воздушного зазора следует предусматривать слой теплоизоляции из минераловатных плит;
- при температуре более 500°С футеровку предусматривают из огнеупорного кирпича с изоляцией из пенодиатомитового кирпича с полужесткими минераловатными плитами или без них, в соответствии с расчетом.
- в случае, если по условиям эксплуатации трубы имеется возможность образования кислотного конденсата на поверхности футеровки в узлах сопряжения звеньев футеровки необходимо предусматривать слезниковые пояса, с тем, чтобы перекрыть зазор между футеровкой и стволом и исключить воздействие конденсата на поверхность несущего ствола трубы.

#### **17.5 Сборные железобетонные трубы**

Для сборных железобетонных труб футеровочная система должна соответствовать следующим требованиям:

- при температуре отводимых газов до 250°С и слабоагрессивной средой футеровку, как правило, не предусматривают;

- при температуре отводимых газов выше 250°C рекомендуется предусматривать футеровку из шамотного легковесного кирпича, опирающуюся на опорные столики, приваренные к закладным деталям на внутренней поверхности царг, либо футеровку из легкого жаростойкого бетона марки по плотности от D 800 до D 900. Для уменьшения температурных напряжений в стенке несущего железобетонного ствола допускается устройство между стенкой и футеровкой воздушного зазора или податливой прокладки из хризотила и других аналогичных материалов.

- для защиты от конденсата отводимых газов внутреннюю поверхность царг допускается торкретировать слоем толщиной от 25 до 50 мм. Состав торкрет-бетона подбирают с учетом агрессивности и температуры отводимых газов и технологии нанесения.

#### 17.6 Стальные трубы

17.6.1 Футеровочные системы в стальных трубах, как правило, следует предусматривать по одному из следующих вариантов:

- внутренний газоотводящий ствол с обслуживаемым или необслуживаемым пространством между ним и наружным несущим стволом.

Допускается размещение в пределах одного несущего ствола нескольких газоотводящих стволов, выполняемых из металла или композиционных материалов;

- монолитная бетонная футеровка, наносимая опалубочным способом или методом торкретирования на внутреннюю сторону несущего ствола;

- химически стойкие покрытия, наносимые напылением, с помощью шпателя или кисти.

17.6.2 Монолитная футеровка из легкого бетона должна иметь минимальную объемную плотность, равную 1000 кг/м<sup>3</sup> в сухом состоянии. Футеровку допускается укладывать в опалубку по внутренней стороне ствола или наносить методом торкретирования. Толщина футеровки не должна быть менее 50 мм.



17.6.3 При толщине футеровки от 50 мм до 65 мм ее следует армировать электросварной проволочной сеткой. Размер ячейки проволочной сетки должен быть равен 50x50 мм с проволокой минимального диаметра 2 мм или 100x100 мм с минимальным диаметром проволоки 3 мм. Сетку располагают на расстоянии 20 мм от поверхности стальной оболочки и закрепляют к оболочке с помощью стальных шпилек, приваренных с интервалом 450 мм.

17.6.4 Футеровку толщиной более 65 мм армируют V-образными стальными анкерами, которые приваривают к оболочке в произвольном порядке с минимальным количеством 16 шт. на 1 м<sup>2</sup>.

17.6.5 Для защиты футеровки от воздействия окружающей среды необходимо предусмотреть установку в верхней части футеровки устойчивый к коррозии металлический колпак.

17.6.6 Для монолитных футеровок следует использовать бетоны по 17.3.7.

17.6.7 При температуре отводимых газов выше 200°C для монолитных футеровок допускается использовать жаростойкие бетоны с маркой по плотности от D1100 до D1600 и соответствующего класса по предельно допустимой температуре применения.

17.6.8 Армирование монолитных футеровок осуществляют отдельными горизонтальными и вертикальными стержнями в соответствии с СП 27.13330.

При соответствующем обосновании, может быть использована стеклопластиковая арматура.

17.6.9 Толщину монолитной футеровки определяют по теплотехническому расчету и принимают не менее 120 мм.

17.6.10 Для повышения теплоизолирующих свойств и уменьшения температурных усилий в несущем железобетонном стволе допускается между монолитной футеровкой и железобетонным стволом устраивать прослойку из жестких теплоизоляционных изделий.

**18 Светофорные площадки, светоограждение, молниезащита, ходовые лестницы.**

18.1 Проектирование металлических конструкций, устанавливаемых на кирпичных трубах, следует выполнять по серии 3.907.2-12 [6].

18.2 Расчет металлоконструкций площадок, балконов, лестниц, расположенных на наружной поверхности трубы следует выполнять с учетом:

- полезная нормативная нагрузка на площадки и балконы  $3,0 \text{ кН/м}^2$ ;
- коэффициент перегрузки для собственного веса 1,1, для полезной нагрузки 1,4, для временной нагрузки 1,2.

18.3 Расположение светофорных площадок по высоте и их количество следует принимать в соответствии с Федеральными авиационными правилами [1].

Площадки для обслуживания и светофорные площадки должны быть организованы, при необходимости, на соответствующих уровнях для обеспечения доступа к заградительным огням, пунктам отбора проб, приборам КИП, удобства проведения ремонтных работ и т.п.

Площадки должны иметь:

- ограждения высотой 1.1 м с промежуточной перекладиной и нижней отбортовочной планкой из стальной полосы высотой не менее 100 мм;
- надежное крепление к оболочке трубы;
- минимальную ширину 825 мм.

18.4 Для подъема на трубу следует предусматривать ходовые лестницы, которые должны быть постоянно закреплены на оболочке трубы и выполняться, как правило, вертикальными с дуговым ограждением, в виде непрерывной линии, с промежуточными площадками для обслуживания или отдыха.

18.5 Ступени на лестнице должны быть равномерно распределены по всей высоте, с расстоянием между центрами от 225 до 300 мм. Ступени следует изготавливать из круглой стали диаметром не менее 20 мм.

18.6 Дуговое ограждение вертикальных лестниц должно выполняться, начиная с высоты 3 м от уровня земли, Дуги должны располагаться на расстоянии не более 0,8 м одна от другой и соединяться не менее чем тремя

продольными полосами. Расстояние от лестницы до дуги должно быть от 0,7 до 0,8 м при радиусе дуги от 0,35 до 0,4 м.

18.7 Лестницы должны быть оборудованы через каждые 10 м по высоте приспособлением или площадкой для отдыха.

18.8 Допускается открытая лестница с дуговым ограждением и специальной системой безопасности при подъеме.

18.9 Неметаллические трубы и газоотводящие стволы, а также металлические трубы с наружной тепловой изоляцией должны иметь систему молниезащиты, состоящую из молниеприемников, двух токоотводов (основного и дублирующего) и заземляющего контура. В качестве дублирующего токоотвода может использоваться ходовая лестница, элементы которой должны надежно соединяться в единую электрическую цепь. Металлические трубы и металлические газоотводящие стволы без наружной тепловой изоляции, а также несущие башни могут не иметь указанной системы молниезащиты, но должны быть заземлены в соответствии с [7]. Сопротивление заземляющего контура должно быть не более 50 Ом.

18.10 Верхние огни светового ограждения следует устанавливать на расстоянии от 1.5 до 3.0 м ниже обреза трубы. Остальные, по необходимости, на нижерасположенных площадках.

18.11 На верхнем ярусе светового ограждения труб следует устанавливать сдвоенные огни красного цвета (основной и резервный). На остальных нижерасположенных площадках допускается устанавливать по одному огню (при необходимости два) в каждой точке, согласно проектной документации.

18.12 Электроснабжение системы светового ограждения должно осуществляться от двух независимых источников питания.

# Приложение А (обязательное)

## Расчёт ветровой нагрузки при зональном действии ветра

Расчёт ветровой нагрузки с учётом зонального действия ветра [8] выполняется для башен, имеющих переломы в поясах.

При расчёте раскосов и распорок в узлах перелома башен, часть нагрузки, лежащую выше или ниже точки схода поясов - рисунок А.1, необходимо принимать с коэффициентом спада  $x$  в зависимости от того, какой случай будет наихудшим.

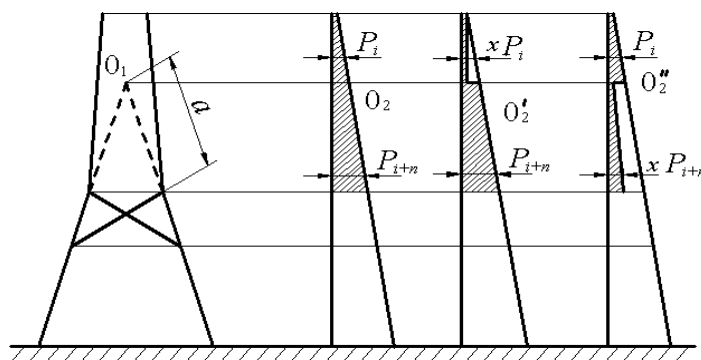


Рисунок А.1 – Схема спада ветровой нагрузки при зональном действии ветра

Зональное действие ветра определяют по формуле:

$$q_{\text{зон}} = x \cdot q \quad (\text{A.1})$$

где:  $q$  – расчётная ветровая нагрузка;

$x$  – коэффициент спада ветровой нагрузки, при зональном действии ветра, принимаемый по графику на рисунке А.2, в зависимости от длины рассматриваемого участка  $a$ .

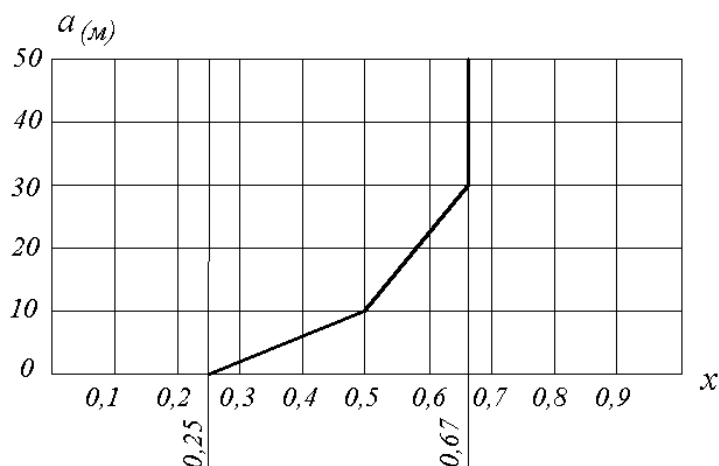
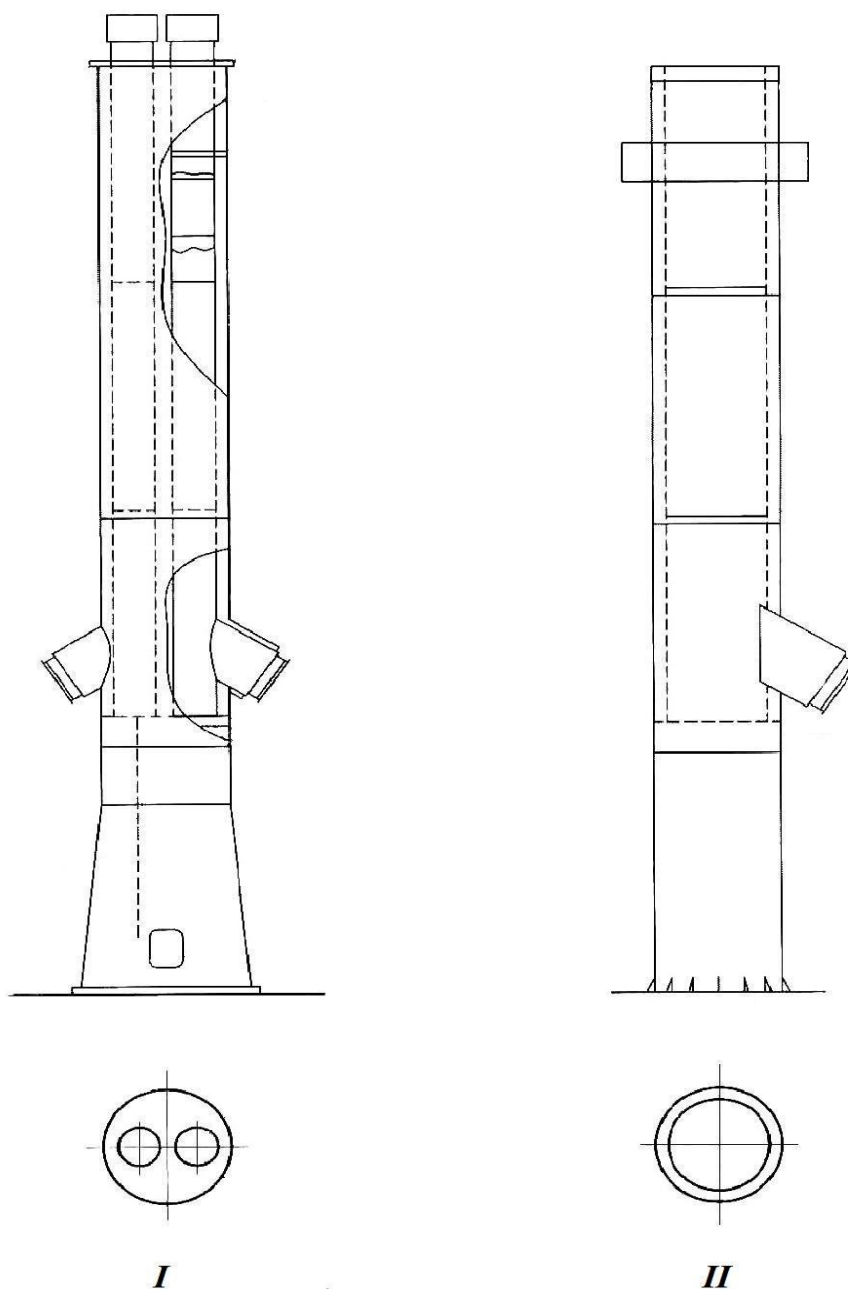


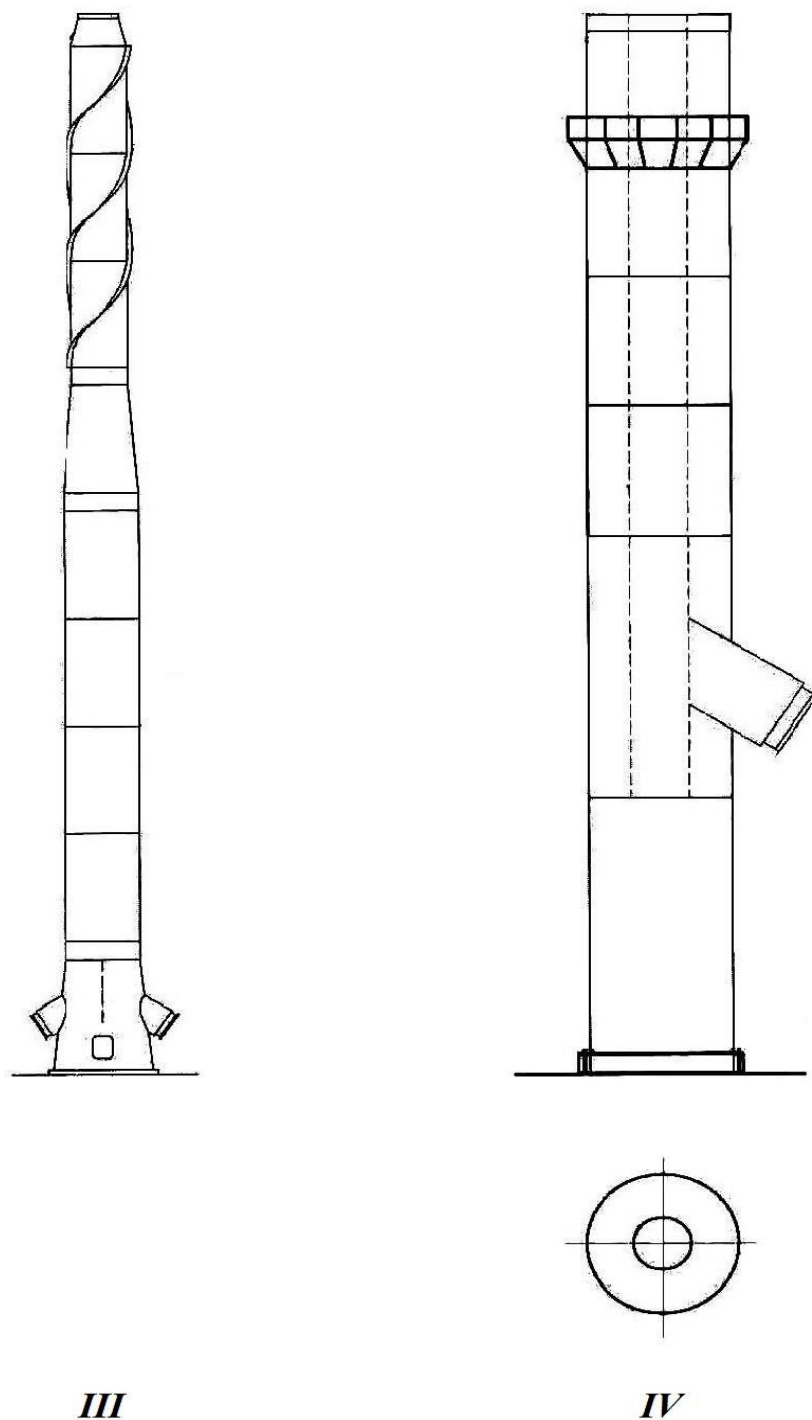
Рисунок А.2 График для определения значений коэффициента спада

Приложение Б  
(справочное)  
Принципиальные схемы стальных труб



*I - самонесущая многоствольная труба;  
II - самонесущая труба с футеровкой и необслуживаемым зазором  
(труба с двойной стенкой).*

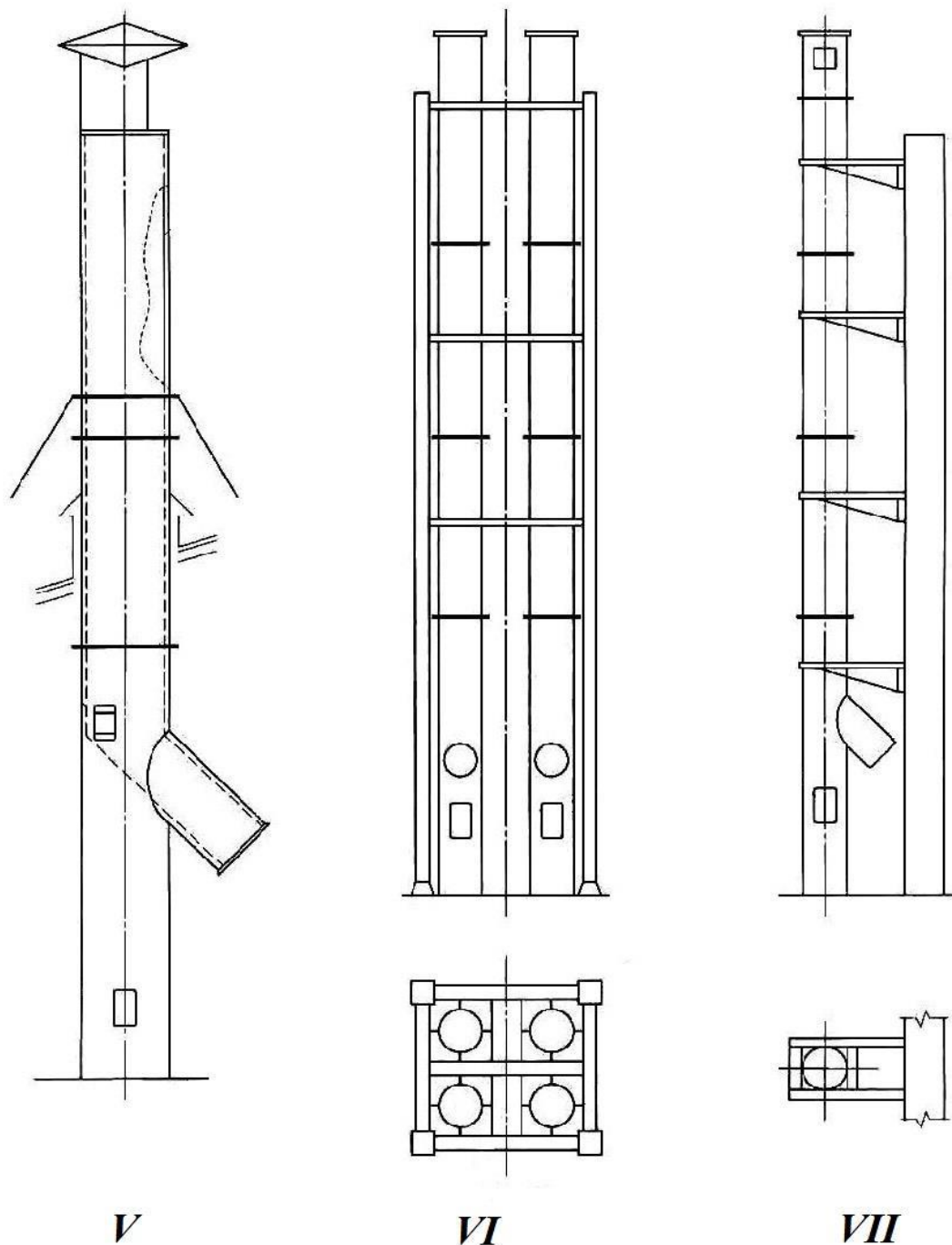
Рисунок Б.1 Самонесущие стальные трубы



*III - самонесущая труба;*

*IV - самонесущая труба с футеровкой и обслуживаемым зазором (труба в трубе).*

Рисунок Б.2 Самонесущие стальные трубы

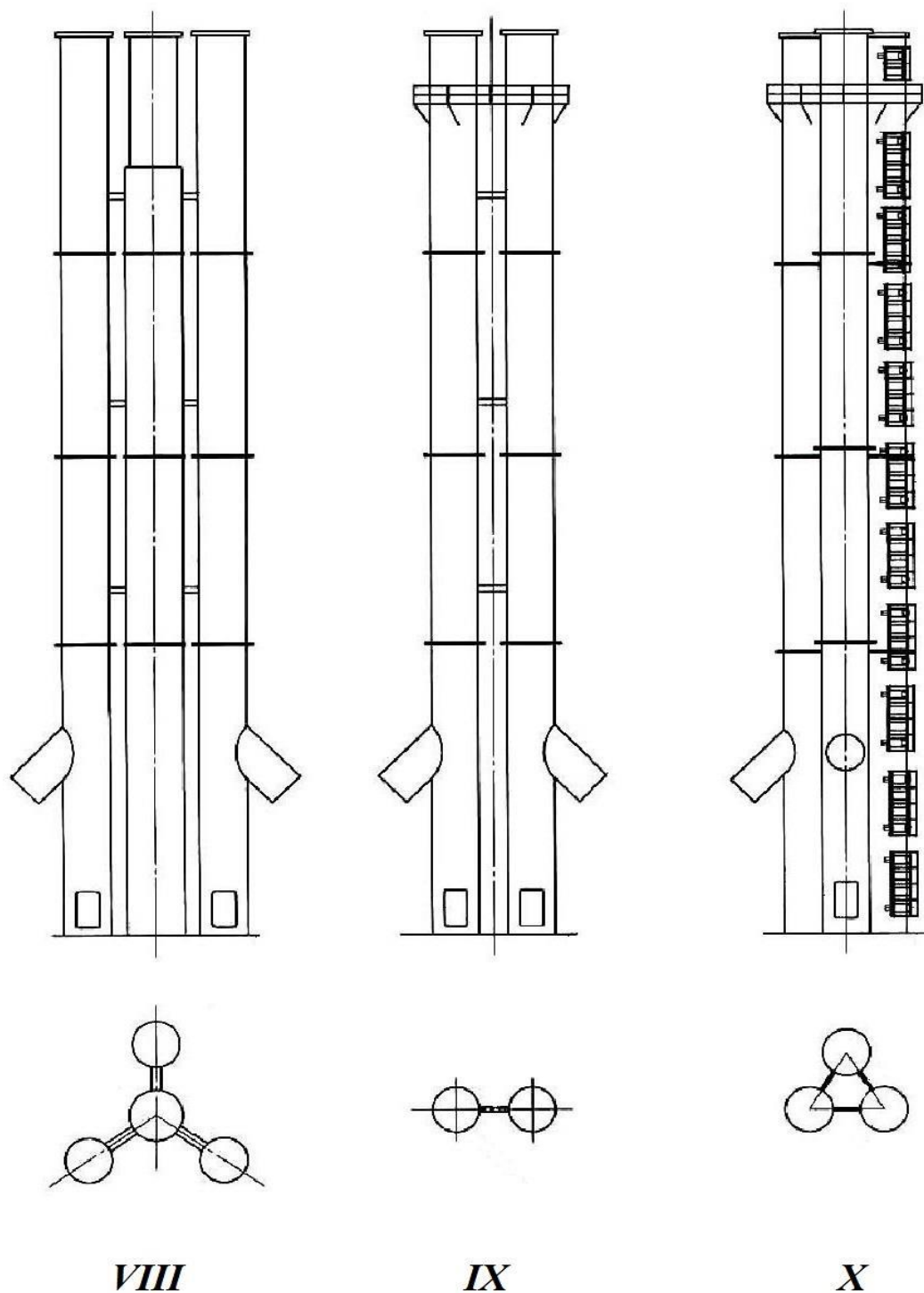


*V - труба с оттяжками;*

*VI - многоствольная труба с поддерживающим каркасом и горизонтальными связями;*

*VII - труба с горизонтальными кронштейнами.*

Рисунок Б.3 Трубы с оттяжками, поддерживающим каркасом, горизонтальными связями, горизонтальными кронштейнами



*VIII - трехствольная труба с горизонтальными связями и центральной поддерживающей опорой;*  
*IX - двухствольная труба с горизонтальными связями;*  
*X - трехствольная труба с горизонтальными связями.*

Рисунок Б.4 Трубы с поперечными связями



### Библиография

- [1] Приказ Федеральной аэронавигационной службы от 28.11.2007 № 119 Об утверждении Федеральных авиационных правил "Размещение маркировочных знаков и устройств на зданиях, сооружениях, линиях связи, линиях электропередачи, радиотехническом оборудовании и других объектах, устанавливаемых в целях обеспечения безопасности полетов воздушных судов»
- [2] ВСН 286-90 Указания по расчету железобетонных дымовых труб
- [3] Постановление Правительства РФ от 25.03.2007 г. №145 «О порядке проведения государственной экспертизы и результатов инженерных изысканий»
- [4] Рекомендации по проходке шурфов в песчаных и глинистых грунтах при производстве инженерно-геологических изысканий для строительства ПНИИИС Госстрой России
- [5] Руководство по проектированию плитных фундаментов каркасных зданий и сооружений башенного типа – М., Стройиздат, 1984
- [6] Серия 3.907.2-12 Типовые унифицированные конструктивные элементы кирпичных дымовых труб высотой 30-120 м диаметром 1,2 - 8,4 м
- [7] СО 153-34.21.122-2003 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций
- [8] СН 376-67 Указания по проектированию металлических конструкций антенных сооружений объектов связи

---

Ключевые слова: дымовые трубы, газоход, железобетонная труба, кирпичная труба, металлическая труба, труба из композиционных материалов, поддерживающий каркас, газоотводящий ствол, футеровка.

---

## **ИСПОЛНИТЕЛЬ**

**АО «ЦНИИПромзданий»**  
(наименование организации)

Руководитель  
разработки Генеральный директор \_\_\_\_\_ В. В. Гранев

Исполнитель Заместитель  
генерального директора \_\_\_\_\_ Д.К. Лейкина

## **СОИСПОЛНИТЕЛЬ**

**Ассоциация «РосТеплостройМонтаж»**  
(наименование организации)

Руководитель  
организации Президент \_\_\_\_\_ Ю.П. Сторожков

Руководитель  
разработки Ведущий эксперт \_\_\_\_\_ Г.М. Мартыненко

Исполнитель Эксперт \_\_\_\_\_ А.Ф. Федин