

# РУКОВОДЯЩИЕ ДОКУМЕНТЫ ГОСГОРТЕХНАДЗОРА РОССИИ

## НОРМЫ

### РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ СТАЦИОНАРНЫХ КОТЛОВ И ТРУБОПРОВОДОВ ПАРА И ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ

#### РД 10-249-98

(в ред. Изменения N 1, утв. Постановлением Госгортехнадзора России от 13.07.2001 N 31)

*Дата введения 2001-09-01*

*Разделы 4, 5, 6 - 7, 8, 9, 10 - 12 Норм расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды, включены в систему отдельными документами*

УТВЕРЖДЕНЫ постановлением Госгортехнадзора России от 25.08.1998 N 50

Редакционная коллегия: В.С.Котельников, Н.А.Хапонен, А.А.Шельпяков (Госгортехнадзор России)

Ю.К.Петреня, Е.Э.Гильде, А.В.Судаков, А.А.Чижик, И.А.Данюшевский, П.В.Белов, А.М.Рейнов (АООТ НПО ЦКТИ им. И.И.Ползунова)

Нормы расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды распространяются на паровые котлы и паропроводы с избыточным рабочим давлением более 0,07 МПа и на водогрейные котлы и трубопроводы горячей воды с температурой свыше 115 °С.

Допускается применение Норм при расчете сосудов энергомашиностроения и корпусов арматуры тепловых электростанций и других установок.

Нормы не распространяются на котлы, трубопроводы, встроенные и автономные пароперегреватели и экономайзеры, устанавливаемые на морских и речных судах и на других плавучих средствах или объектах подводного применения, а также на подвижном составе железнодорожного, автомобильного и гусеничного транспорта, и на котлы с электрическим обогревом.

Для котлов и трубопроводов, находящихся в эксплуатации, в процессе монтажа или изготовления или оконченных проектированием до введения настоящих Норм, переоформление расчетов на прочность в соответствии с новыми нормами не требуется.

Текст настоящего издания Норм включает Изменение N 1 (РДИ 10-413(249)-01),

утвержденное постановлением Госгортехнадзора России от 13.07.2001 N 31.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Настоящие Нормы расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды распространяются на паровые котлы и паропроводы с рабочим давлением более 0,07 МПа и на водогрейные котлы и трубопроводы горячей воды с температурой свыше 115 °С:

на котлы с топкой, котлы-утилизаторы, энерготехнологические котлы и др.;

на встроенные и автономные пароперегреватели и экономайзеры;

на трубопроводы пара и горячей воды в пределах котла, включая опускные трубы, соединительные трубы и стояки;

на трубопроводы пара и горячей воды любого назначения;

на сосуды, подключенные к тракту котла (пароохладители, сепараторы и др.).

Допускается применение Норм при расчете сосудов энергомашиностроения и корпусов арматуры тепловых электростанций и других установок.

Нормы не распространяются на котлы, трубопроводы, встроенные и автономные пароперегреватели и экономайзеры, устанавливаемые на морских и речных судах и на других плавучих средствах или объектах подводного применения, а также на подвижном составе железнодорожного, автомобильного и гусеничного транспорта, и на котлы с электрическим обогревом.

Нормы должны применяться совместно с Правилами устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов (ПГК-93), Правилами устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды (ПГТ-94) и Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением (ПБ 10-115-96).

Для котлов и трубопроводов, находящихся в эксплуатации, в процессе монтажа или изготовления или окончанных проектированием до введения настоящих Норм, переоформление расчетов на прочность в соответствии с новыми нормами не требуется.

### 1.1. Основные условные обозначения

1.1.1. В формулах приняты следующие обозначения, представленные в табл.1.1.

Таблица 1.1

Символ	Название	Единица измерения
1	2	3
$P$	Расчетное давление	МПа
$P_h$	Пробное давление	МПа
$t$	Расчетная температура стенки	°С

$t_a$	Температура наружной поверхности детали	°C
$[t]$	Допустимая температура наружной поверхности детали	°C
$[o]$	Номинальное допускаемое напряжение при расчетной температуре стенки	МПа
$[o]_h$	Допускаемое напряжение при гидравлическом испытании	МПа
$\sigma_{B/t}; \sigma_B$	Временное сопротивление металла разрыву при расчетной температуре и при 20 °C соответственно	МПа
$\sigma_{0,2/t}; \sigma_{0,2}$	Условный предел текучести металла при остаточной деформации 0,2% при расчетной температуре и при 20 °C соответственно	МПа
$\sigma_{0,1/t}$	Условный предел текучести металла при остаточной деформации 1% при расчетной температуре	МПа
$\sigma_{T/t}$	Предел текучести при расчетной температуре	МПа
$\sigma_{10^4/t}, \sigma_{10^5/t},$ $\sigma_{2 \cdot 10^5/t}, \sigma_{3 \cdot 10^5/t}$	Условный предел длительной прочности при растяжении на ресурс 10(4), 10(5), 2·х 10(5) и 3·х 10(5) ч соответственно	МПа
$\sigma_{1/10^5/t}$	Условный предел ползучести при растяжении, обуславливающий деформацию в 1% за 10(5) ч	МПа
$\delta$	Номинальная толщина стенки детали	мм
$s_R$	Расчетная толщина стенки детали	мм
$s_t$	Фактическая толщина стенки детали	мм
$c$	Суммарная прибавка к расчетной толщине стенки	мм
$c1, c2$	Производственная и эксплуатационная прибавки к расчетной толщине стенки соответственно	мм

## 1.2. Область применения

1.2.1. Приведенные в Нормах методы расчета на прочность применимы при соблюдении следующих условий:

конструкция, материалы, изготовление, контроль, монтаж и ремонт котла, трубопровода и их деталей, работающих под давлением, удовлетворяют соответствующим требованиям Правил (ПГК-93, ПГТ-94, ПБ 10-115-96);

эксплуатация котла и трубопровода удовлетворяет требованиям не ниже требований правил технической эксплуатации, согласованных с Госгортехнадзором России (далее - госгортехнадзором), например "Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей";

при монтаже, эксплуатации и ремонте обеспечено выполнение инструкций и указаний предприятия-изготовителя.

1.2.2. При расчете деталей, конструкция которых, способы изготовления и условия эксплуатации отличаются от общепринятых, установленных соответствующими Правилами, необходимо вводить коррективы, учитывающие особенности изготовления и эксплуатации. Для деталей, подверженных частым сменам нагрузки или колебаниям температуры, должны выполняться поверочные расчеты на малоцикловую усталость.

1.2.3. Прочность деталей, методы расчета которых в Нормах не приводятся, должна быть подтверждена изготовителем в результате проведения испытаний моделей или образцов либо расчетами на прочность, согласованными со специализированными научно-исследовательскими организациями. При этом должно быть обеспечено соблюдение запасов прочности не менее установленных настоящими Нормами.

1.2.4. Методика расчетов на прочность, приведенная в Нормах, предусматривает выполнение расчетов в прямом и обратном порядке. При прямом порядке расчетов определяется номинальная или допустимая толщина стенки по заданному или принятому расчетному давлению, при обратном порядке расчета определяется величина допустимого давления по фактической или номинальной толщине стенки. Обратный порядок расчета может быть назван контрольным расчетом. Выбор порядка расчета должен производиться организацией, выполняющей расчет.

В Нормах не приводятся последовательность и методика поверочного расчета, основной задачей которого является обоснование расчетного ресурса эксплуатации. Однако в поверочном расчете должны использоваться значения номинальных допускаемых напряжений и основные расчетные формулы и зависимости, приведенные в разделах 3, 4 данных Норм.

## 1.3. Расчетное давление

1.3.1. Под расчетным давлением  $p$  следует понимать избыточное давление рабочей среды, по которому производится расчет на прочность данной детали.

Расчетное давление должно приниматься конструкторской организацией в целях обеспечения расчетом на прочность, выполняемым этой организацией, надежности детали в условиях испытаний и эксплуатации.

Расчетное давление должно быть равно максимальному давлению рабочей среды, возможному для данной детали в нормальных условиях эксплуатации, или больше его. Необходимость превышения расчетного давления над рабочим, а также размеры этого превышения должны определяться конструкторской организацией с учетом особенности конструкции котла и его комплектации (например, предохранительными клапанами), назначения котла и опыта эксплуатации котла данного типа.

1.3.2. Расчетное давление детали котла  $p$  следует принимать равным расчетному давлению рабочей среды на выходе из котла (перегревателя), увеличенному на потерю давления от гидравлического сопротивления на участке между расчетной деталью и выходом рабочей среды из котла. Потеря давления должна определяться при максимальном расходе среды.

Для элементов, заполненных водой, следует прибавить гидростатическое давление столба воды, расположенного над нижней частью расчетного элемента.

Гидростатическое давление и потери гидравлического сопротивления принимаются в расчет, если их сумма равна или более 3% расчетного давления.

1.3.3. Расчетное давление рабочей среды на выходе из котла должно приниматься равным номинальному давлению при номинальной температуре и паропроизводительности (или номинальном расходе воды для водогрейного котла), увеличенному на положительное отклонение, вызванное регулированием величины номинального давления, если это отклонение превышает 3%.

1.3.4. Расчетное давление в трубах поверхностей нагрева или трубопроводах принимается равным давлению рабочей среды на входе в рассчитываемый пакет или трубопровод (в соответствующем коллекторе, барабане котла или полости теплообменника).

1.3.5. Расчетное давление в чугунных экономайзерах следует определять в соответствии с п.1.3.2; при этом оно должно быть не менее расчетного давления в котле, увеличенного на 25%.

1.3.6. Кратковременное повышение давления при полном открытии предохранительных клапанов в расчете допускается не учитывать, если при максимальной производительности котла оно не превышает 10% рабочего давления. Если это условие не соблюдается, то расчетное давление должно приниматься равным 90% давления при полном открытии предохранительных клапанов.

1.3.7. Расчетное давление в трубопроводах воды после насосов должно приниматься равным 90% максимального давления, создаваемого насосами при закрытых задвижках.

1.3.8. Во всех случаях величина расчетного давления должна приниматься не менее 0,2 МПа.

## **1.4. Расчетная температура**

1.4.1. Под расчетной температурой стенки  $t$  следует понимать температуру металла, по которой выбирается величина допустимого напряжения для рассчитываемой детали котла или трубопровода.

1.4.2. Расчетную температуру стенки деталей, не обогреваемых горячими газами или надежно изолированных от обогрева извне, следует принимать равной температуре содержащейся в ней рабочей среды без учета допусков по отклонению температуры рабочей среды от номинальной, установленных ГОСТ 3619, ГОСТ 21563, ГОСТ 22530.

Детали считаются надежно изолированными, если обеспечены условия, при которых повышение средней температуры стенки от тепловосприятия извне не будет превышать 5 °С.

Для экранов это условие соблюдается, если просвет между экранными трубами или между плавниками труб не превышает 3 мм.

1.4.3. За расчетную температуру стенки обогреваемых деталей следует принимать среднеарифметическое значение температур наружной и внутренней поверхности стенки в наиболее нагретой части детали, определенных теплотехническим расчетом или измерением.

1.4.4. Расчетную температуру стенки необогреваемых деталей котлов и трубопроводов следует принимать равной температуре среды на входе в расчетный элемент (при отсутствии внутри детали греющих теплообменников или при размещении в ней охлаждающего теплообменника) или равной температуре среды на выходе из детали (при размещении в ней греющих теплообменников).

1.4.5. Если избыточное давление горячих газов превышает 0,1 МПа, то расчетная температура стенки обогреваемых деталей должна приниматься по тепловому расчету или по данным измерений температуры.

1.4.6. Расчетную температуру стенки деталей котлов и трубопроводов в пределах котла следует принимать не менее 250 °С.

Допускается принимать расчетную температуру стенки необогреваемых деталей котлов и трубопроводов ниже 250 °С по согласованию со специализированными научно-исследовательскими организациями.

## 1.5. Толщина стенки и прибавки

1.5.1. Расчетная толщина стенки  $s_R$ , вычисленная по формулам раздела 3 настоящих Норм, должна определяться по заданным значениям расчетного давления и номинального допускаемого напряжения с учетом ослабления отверстиями и (или) сварными соединениями.

1.5.2. Номинальная толщина стенки  $s$  должна приниматься по расчетной толщине стенки с учетом прибавок, указанных в пп. 1.5.5 и 1.5.6, с округлением до ближайшего большего размера, имеющегося в сортаменте толщин соответствующих полуфабрикатов. Допускается округление в меньшую сторону не более 3% принятой окончательно номинальной толщины стенки.

1.5.3. Допустимая толщина стенки  $[s]$  должна определяться по расчетной толщине стенки с учетом эксплуатационной прибавки  $c_2$ , определяемой согласно пп. 1.5.5 и 1.5.7.

1.5.4. Фактическая толщина стенки  $sf$ , полученная непосредственными измерениями толщины готовой детали при операционном и (или) эксплуатационном контроле, должна быть не менее допустимой толщины стенки. Точность измерительного прибора, используемого при определении  $sf$ , следует учитывать, если его погрешность превышает 1%.

1.5.5. По назначению прибавки к расчетной толщине стенки следует подразделять:

на прибавку  $c_1$  (производственная прибавка), компенсирующую возможное понижение прочности детали в условиях изготовления детали за счет минусового отклонения толщины стенки полуфабриката, технологических утонений и др.;

на прибавку  $c_2$  (эксплуатационная прибавка), компенсирующую возможное понижение прочности детали в условиях эксплуатации за счет всех видов воздействия: коррозии, механического износа (эрозии) и др.

Утонение в результате абразивного износа труб учтено в приводимых значениях прибавки  $c_2$  только при выборе скорости газов, ограничивающих чрезмерный износ согласно "Тепловому расчету котельных агрегатов. Нормативный метод" (далее - "Тепловой расчет"). При большем износе прибавка на утонение из-за абразивного износа должна приниматься согласно "Тепловому расчету".

Сумма прибавок  $c = c_1 + c_2$  должна быть не менее минимальных значений, указанных в разделе 3 и относящихся к расчету конкретных деталей.

1.5.6. Производственная прибавка  $c_1$  состоит из прибавки, компенсирующей минусовое отклонение  $c_{11}$ , и технологической прибавки  $c_{12}$ :  $c_1 = c_{11} + c_{12}$ .

Значение прибавки  $c_{11}$  следует определять по предельному минусовому отклонению толщины стенки, установленному стандартами или техническими условиями на полуфабрикаты; значение прибавки  $c_{12}$  должно определяться технологией изготовления детали и принимается по техническим условиям на изделие.

Для прямых труб и обечаек, подвергающихся на предприятии-изготовителе механической обработке,  $c_{11} = 0$ ; для деталей, деформирование которых при изготовлении не приводит к ослаблению стенки заготовки,  $c_{12} = 0$ .

1.5.7. Эксплуатационная прибавка состоит из прибавок, компенсирующих понижение прочности по пароводяной стороне  $c_{21}$  и со стороны газов  $c_{22}$ .

Значение прибавки  $c_{21}$  для всех обогреваемых и необогреваемых деталей из аустенитных сталей, а также для труб наружным диаметром 32 мм и менее из углеродистой и теплоустойчивой сталей равно нулю. Для остальных деталей (труб наружным диаметром более 32 мм, коллекторов, барабанов, фасонных деталей и трубопроводов и других, изготавливаемых из углеродистой и теплоустойчивой сталей) значение прибавки  $c_{21}$  на расчетный ресурс 10(5) ч должно определяться по табл. 1.2.

Таблица 1.2

Прибавка  $c_{21}$ , мм

Рабочая среда	Трубы диаметром свыше 32 до 76 мм включительно	Остальные детали
Вода, пароводяная смесь, насыщенный пар	0,5	1,0
Перегретый пар	0,3	0,5
Среда сверхкритических параметров	-	0,3

Примечание. Для гибов опускных, водоперепускных и необогреваемых труб для пароводяной смеси и насыщенного пара наружным диаметром более 76 мм при рабочем давлении котла от 8 до 20 МПа следует принимать прибавку  $c_{21}$  от 1 до 3 мм в зависимости от опыта

эксплуатации котла данного типа; для труб наружным диаметром 133 мм и более использование прибавки  $c_{21}$  менее 3 мм должно быть согласовано со специализированными научно-исследовательскими организациями.

При расчетном ресурсе более 10(5) ч прибавку  $c_{21}$  следует увеличить с учетом скорости коррозии; при ресурсе до 2 x 10(5) ч допускается принимать (впредь до уточнения) значение этой прибавки такой, как при ресурсе 10(5) ч.

При расчетном ресурсе менее 10(5) ч прибавку  $c_{21}$  допускается принимать уменьшенной пропорционально ресурсу.

Значение прибавки  $c_{22}$  для необогреваемых деталей равно нулю.

Значение прибавки  $c_{22}$  для обогреваемых деталей должно приниматься в зависимости от температуры наружной поверхности детали, вида топлива и металла детали. Для определения прибавки  $c_{22}$  температура наружной поверхности детали должна сравниваться с допустимой температурой, значения которой приведены в табл.1.3. Расчетная температура наружной поверхности обогреваемых деталей, определяемая по тепловому расчету с учетом тепловой и гидравлической неравномерности, но без учета временного увеличения неравномерности обогрева, не должна превышать значений допустимой температуры [t].

Таблица 1.3

Допустимая температура наружной поверхности с учетом продуктов сгорания [t], °С

Марка стали	Высокосернистые и сернистые мазуты	Эстонские сланцы	Остальные энергетические топлива, кроме новых
10	450	400	450
20	500	450	500
12ХМ, 12МХ, 15ХМ, 10CrMo910 (хролой)	550	530	550
12Х1МФ, 12Х2МФСР	585	540	585
12Х2МФБ	585	545	600
12Х11В2МФ	620	560	630
12Х18Н12Т, 12Х18Н10Т	610	610	640

Примечание. Допустимая температура наружной поверхности экранных труб из стали 12Х1МФ, расположенных в зоне максимальных тепловых нагрузок более 407 кВт/м<sup>2</sup> (350 x 10(3) ккал/(м<sup>2</sup>·ч), при сжигании сернистых мазутов не должна превышать 545 °С с учетом запаса на межпромывочный период.

Для необогреваемых участков труб из стали марок 12Х1МФ, 12Х2МФСР и 12Х2МФБ, соединяющих трубы поверхности нагрева из аустенитной стали с коллекторами из легированной стали, допускается температура стенки до 600 °С.

Значение прибавки  $c_{22}$  для ресурса 10(5) ч должно приниматься минимальным из условий:

при температуре наружной поверхности  $ta < ([t] - 40) ^\circ\text{C}$   
 $c_1 + c_2 \geq 0,5 \text{ мм};$   
при температуре согласно условию  $([t] - 40) ^\circ\text{C} < ta \leq [t]$   
 $c_1 + c_2 \geq 1,0 \text{ мм}.$

Для обогреваемых углеродистых труб общего назначения (например, из стали марки Ст3) прибавка  $c_{22}$  должна приниматься не менее 0,4 мм независимо от температуры стенки, марки стали и категории качества.

Для стали марки 12Х18Н12Т при сжигании высокосернистых и сернистых мазутов и для сталей марок 12Х1МФ, 12Х2МФСР и 12Х2МФБ при сжигании эстонских сланцев допускается температура наружной поверхности деталей выше допустимой, но не более значений температуры, установленных для остальных энергетических топлив, при условии увеличения значения прибавки  $c_{22}$  на 0,5 мм в первом случае и на 0,3 мм во втором на каждые 10 °С повышения температуры.

Для ресурса эксплуатации менее 10(5) ч значение прибавки  $c_{22}$  к фактической толщине стенки допускается принимать пропорционально отношению данного ресурса к ресурсу в 10(5) ч.

При выборе расчетной температуры наружной поверхности труб экранов котлов сверхкритических параметров следует учитывать повышение этой температуры в течение межпромывочного периода.

Для труб, находящихся в теплом ящике энергетического котла, значения прибавки  $c_{22}$  должны приниматься равными 0,5 значения, определяемого для обогреваемых труб при той же расчетной температуре наружной поверхности.

Расчетная температура стенок труб в теплом ящике должна приниматься равной температуре рабочей среды с учетом неравномерностей ее распределения.

1.5.8. При вычислении и измерении толщины стенки в документацию следует записывать значение с округлением до 0,1 мм.

## 2. ДОПУСКАЕМОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

2.1. Под номинальным допускаемым напряжением  $[σ]$  следует понимать величину напряжения, используемую для определения расчетной толщины стенки детали или допустимого давления по принятым исходным данным и марке металла.

Приведенные в настоящих Нормах допускаемые напряжения и указания по их выбору применимы при использовании металлов и полуфабрикатов, которые разрешены Правилами госгортехнадзора.

Уровень расчетных характеристик используемых металлов и полуфабрикатов должен быть подтвержден статистической обработкой данных испытаний, периодическим контролем качества продукции не реже одного раза в 5 лет и положительным заключением специализированной научно-исследовательской организации в соответствии с требованиями Правил госгортехнадзора.

2.2. Номинальные допускаемые напряжения для катаной или кованой стали марок, широко

используемых в котлах и трубопроводах, следует принимать по табл. 2.1-2.5.

Таблица 2.1

Номинальные допускаемые напряжения  $[\sigma]$  для углеродистой и марганцовистой сталей, не зависящие от расчетного ресурса, МПа

$t, ^\circ\text{C}$	Марка стали								
	Ст2кп	Ст3кп	Ст2сп, Ст2пс	Ст3сп, Ст3пс	Ст4пс, Ст4сп	СЗГпс	22К	14ГНМА	16ГНМ, 16ГНМА
От 20 до 50	124	133	130	140	145	150	170	180	190
150	106	115	112	125	129	134	155	179	181
200		111	100	117	121	125	147	175	176
250	80	102	86	107	111	115	140	171	172
275				102	106	109	135	170	169
300			70		98	103	130	169	167
320							126	164	165
340							122	161	163
350							120	159	161
360								157	159
370								155	157
380								152	154

Таблица 2.2

Номинальные допускаемые напряжения  $[\sigma]$  для углеродистой и марганцовистой сталей, МПа

$t, ^\circ\text{C}$	Марка стали										
	08, 10, 12К				15, 15К, 16К			20, 20К, 18К			
	Расчетный ресурс, ч										
	10(4)	10(5)	2·х 10(5)	3·х 10(5)	10(4)	10(5)	2·х 10(5)	10(4)	10(5)	2·х 10(5)	3·х 10(5)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
От 20 до 100	-	130	-	-	-	140	-	-	147	-	-
200	-	120	-	-	-	130	-	-	140	-	-
250	-	108	-	-	-	120	-	-	132	-	-
275	-	102	-	-	-	113	-	-	126	-	-
300	-	96	-	-	-	106	-	-	119	-	-
320	-	92	-	-	-	101	-	-	114	-	-
340	-	87	-	-	-	96	-	-	109	-	-
350	-	85	-	-	-	93	-	-	106	-	-
360	-	82	-	82	-	90	-	-	103	-	103
380	-	76	76	71	-	85	85	-	97	97	88

400	73	73	66	60	80	80	72	92	92	78	71
410	70	68	61	55	77	72	65	89	86	70	63
420	68	62	57	50	74	66	58	86	79	63	56
430	66	57	51	45	71	60	52	83	72	57	50
440	63	51	45	40	68	53	45	80	66	50	44
450	61	46	38	35	65	47	38	77	59	46	39
460	58	40	33	29	62	40	33	74	52	38	34
470	52	34	28	24	54	34	28	64	46	32	28
480	45	28	22	18	46	28	22	56	39	27	24
490	39	24			40	24		49	33		
500	33	20			34	20		41	26		
510	26							35			

Продолжение табл. 2.2

t, °C	Марка стали								
	16ГС, 09Г2С			10Г2С1, 17ГС, 17Г1С, 17Г1СУ			15ГС		
	Расчетный ресурс, ч								
	10(4)	10(5)	2·x 10(5)	10(4)	10(5)	2·x 10(5)	10(4)	10(5)	2·x 10(5)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
От 20 до 100	-	170	-	-	177	-	-	185	-
200	-	150	-	-	165	-	-	169	-
250	-	145	-	-	156	-	-	165	-
275	-	140	-	-	150	-	-	161	-
300	-	133	-	-	144	-	-	153	-
320	-	127	-	-	139	-	-	145	-
340	-	122	-	-	133	-	-	137	-
350	-	120	-	-	131	-	-	133	-
360	-	117	-	-	127	-	-	129	-
380	-	112	112	-	121	121	-	121	121
400	107	107	95	113	113	96	113	113	96
410	104	97	83	107	102	85	107	102	85
420	102	87	73	102	90	75	102	90	75
430	98	76	63	97	78	65	97	78	65
440	95	68	55	92	70	55	92	70	55
450	89	62	46	88	63	46	88	63	46
460	83	54	38	82	54	38	82	54	38
470	71	46	32	71	46	32	71	46	32
480	60			60			60		
490									

Примечания: 1. Выше черты приведены значения напряжений, определяемые по пределу текучести в зависимости от температуры.

2. Значения допускаемых напряжений в колонках для ресурса 10(4) и 2 х 10(5) ч, отмеченные выше черты знаком "-", принимаются равными соответствующим значениям в колонке для ресурса 10(5) ч.

3. Значения допускаемых напряжений, указанные ниже черты, соответствуют работе элементов в условиях ползучести и определены по пределу длительной прочности для соответствующего ресурса.

Таблица 2.3

Номинальные допускаемые напряжения  $[\sigma]$  для теплоустойчивой стали, МПа

$t, ^\circ\text{C}$	Марка стали							
	12ХМ, 12МХ				15ХМ			
	Расчетный ресурс, ч							
	10	10	2·х 10	3·х 10	10	10	2·х 10	3·х 10
1	2	3	4	5	6	7	8	9
От 20 до 150	-	147	-	-	-	153	-	-
250	-	145	-	-	-	152	-	-
300	-	141	-	-	-	147	-	-
350	-	137	-	-	-	140	-	-
400	-	132	-	-	-	133	-	-
420	-	129	-	-	-	131	-	-
440	-	126	-	-	-	128	-	-
450	-	125	-	-	-	127	-	-
460	-	123	123	123	-	125	125	125
480	120	120	102	102	122	122	113	103
500	116	95	77	64	119	105	85	76
510	114	78	60	53	117	85	72	62
520	107	66	49	43	110	70	58	50
530	93	54	40	35	97	56	44	39
540	77	43			80	45	35	31
550	60				62	35	26	23
560					52	27		
570					42	21		
580								
590								
600								
610								
620								

Продолжение табл. 2.3

$t, ^\circ\text{C}$	Марка стали											
	12Х1МФ				12Х2МФСР				15Х1 М1Ф			
	Расчетный ресурс, ч											
	10(4)	10(5)	2·х 10(5)	3·х 10(5)	10(4)	10(5)	2·х 10(5)	10(4)	10(5)	2·х 10(5)	3·х 10(5)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	

От 20 до 150	-	173	-	-	-	167	-	-	192	-	-
250	-	166	-	-	-	160	-	-	186	-	-
300	-	159	-	-	-	153	-	-	180	-	-
350	-	152	-	-	-	147	-	-	172	-	-
400	-	145	-	-	-	140	-	-	162	-	-
420	-	142	-	-	-	137	-	-	158	-	-
440	-	139	-	-	-	134	-	-	154	-	-
450	-	138	-	138	-	133	-	-	152	-	-
460	-	136	136	130	-	131	131	-	150	150	150
480	133	133	120	107	128	128	119	146	145	130	123
500	130	113	96	88	121	106	97	140	120	108	100
510	120	101	86	79	115	94	87	137	107	96	90
520	112	90	77	72	105	85	79	125	96	86	80
530	100	81	69	65	95	78	70	111	86	77	72
540	88	73	62	58	87	70	63	100	78	69	65
550	80	66	56	52	80	63	56	90	71	63	58
560	72	59	50	46	72	57	50	81	64	57	52
570	65	53	44	41	65	52	45	73	57	51	47
580	59	47	39	36	59	46	41	66	52	46	43
590	53	41	35	32	53	41	36	60	47	42	39
600	47	37	31	29	47	37	33	54	43	38	35
610	41	33			41	33	28	48	40		
620	35				35			43			

Примечания: 1. Выше черты приведены значения напряжений, определяемые по пределу текучести в зависимости от температуры.

2. Значения допускаемых напряжений в колонках для ресурса 10(4), 2·х 10(5) и 3·х 10(5) ч, отмеченные выше черты знаком "-", принимаются равными соответствующим значениям в колонке для ресурса 10(5) ч.

3. Значения допускаемых напряжений, указанные ниже черты, соответствуют работе элементов в условиях ползучести и определены по пределу длительной прочности для соответствующего ресурса.

Таблица 2.4

Номинальные допускаемые напряжения [ $\sigma$ ] для высокохромистой и аустенитной сталей, МПа

$t, ^\circ\text{C}$	Марка стали									
	12X11B2MФ			12X18H12T; 12X18H10T				09X14H19B2БР, 09X16H14B2БР, 10X16H16B2МБР		
	Расчетный ресурс, ч									
	10(4)	10(5)	2·х 10(5)	10(4)	10(5)	2·х 10(5)	3·х 10(5)	10(4)	10(5)	2·х 10(5)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

От 20 до 150	-	195	-	-	147	-	-	-	147	-
250	-	183	-	-	125	-	-	-	131	-
300	-	175	-	-	120	-	-	-	128	-
350	-	167	-	-	116	-	-	-	125	-
400	-	158	-	-	111	-	-	-	123	-
450	-	152	-	-	107	-	-	-	120	-
500	145	145	145	-	104	-	-	-	117	-
520	143	134	128	-	103	-	-	-	116	-
530	141	124	119	-	103	-	102	-	116	-
540	140	115	108	-	102	102	100	-	115	-
550	130	107	100	-	102	100	93	-	115	-
560	121	97	90	101	101	91	87	-	114	-
570	113	87	80	101	97	87	81	-	114	-
580	104	78	72	100	90	81	74	-	113	113
590	95	69	64	98	81	73	68	-	113	109
600	87	60	55	94	74	66	62	112	112	102
610	78	51	47	88	68	59	55	111	104	94
620	70	47	39	82	62	53	50	111	97	87
630	62	37	31	78	57	49	46	110	89	79
640	54	27	23	72	52	45	42	110	81	72
650	45	20		65	48	41	38	109	74	64
660	38			60	45	37		103	66	56
670	30			55	41	34		96	59	49
680				50	38	32		88	52	41
690				45	34	28		79	44	34
700				40	30	25		71	37	27

Примечания: 1. Выше черты приведены значения напряжений, определяемые по пределу текучести в зависимости от температуры.

2. Значения допускаемых напряжений в колонках для ресурса 10(4), 2·х 10(5) и 3·х 10(5) ч, отмеченные выше черты знаком "-", принимаются равными соответствующим значениям в колонке для ресурса 10(5) ч.

3. Значения допускаемых напряжений, указанные ниже черты, соответствуют работе элементов в условиях ползучести и определены по пределу длительной прочности для соответствующего ресурса.

Таблица 2.5

Рекомендуемая

Номинальные допускаемые напряжения [ $\sigma$ ] для стали 10Х9МФБ, МПа

$t, ^\circ\text{C}$	Расчетный ресурс, ч		
	10(4)	10(5)	2 x 10(5)
1	2	3	4
От 20 до 150	-	167	-

250	-	160	-
300	-	157	-
350	-	154	-
400	-	151	-
450	-	148	-
470	-	147	147
480	146	146	143
490	145	138	132
500	145	127	122
520	127	108	102
540	109	90	83
550	100		
560			
570			
580	78		
590	71	58	53
600		52*	
610	62*	50*	
620	60*	48*	
630	57*	45*	
640	55*	43*	
650	52*	41*	

Примечания: 1. Выше черты приведены значения допускаемых напряжений, определяемых по пределу текучести в зависимости от температуры.

2. Значения допускаемых напряжений в колонках для ресурса 10(4) и 2·х 10(5) ч, отмеченные выше черты знаком "-", принимаются равными соответствующим значениям в колонке для ресурса 10(5) ч.

3. Значения допускаемых напряжений, указанные ниже черты, соответствуют работе элементов в условиях ползучести и определены по пределу длительной прочности для соответствующего ресурса.

4. Значения допускаемых напряжений со знаком \* получены экстраполяцией с малых по времени баз испытаний и должны быть откорректированы с учетом требований подраздела 2.1.

Для промежуточных значений ресурса эксплуатации, указанных в таблицах, значение допускаемого напряжения разрешается определять линейной интерполяцией ближайших значений между ресурсами с округлением до 0,5 МПа в меньшую сторону, если разница между этими значениями не превышает 20% их среднего значения. В остальных случаях должно применяться "логарифмическое" интерполирование.

Экстраполяция значений допускаемых напряжений для ресурса менее 10(4) не допускается без согласования со специализированными научно-исследовательскими организациями.

Допускаемые напряжения для сталей иностранных марок, допущенных к применению Госгортехнадзором России, должны устанавливаться специализированными научно-исследовательскими организациями. Для стали 2.1/4 Cr1Mo (10CrMo910 для труб по ДИН 17175 и для листа по ДИН 17155) могут быть использованы значения допускаемых

напряжений, приведенные в табл. 2.6.

Таблица 2.6

Номинальные допускаемые напряжения для стали 2.1/4 Cr1Mo(10CrMo910) на расчетный ресурс 10(5) ч

$t, ^\circ\text{C}$	$[\sigma], \text{МПа}$
20-100	180
200	163
250	160
300	153
350	146
400	140
450	133
480	123
500	96
520	73
540	53
560	38
580	28

2.3. Для сталей марок, не приведенных в табл. 2.1-2.4, и для других металлов, допущенных к применению Госгортехнадзором России, номинальное допускаемое напряжение следует принимать равным наименьшему из приведенных в табл. 2.7 значений, полученных в результате деления соответствующей расчетной характеристики прочности металла при растяжении на соответствующий запас прочности по данной характеристике.

Таблица 2.7

Формулы для определения номинального допускаемого напряжения  $[\sigma]$ , не зависящего от расчетного ресурса, или для расчетного ресурса 10(5) ч

Материал	Формула			
1	2			
Углеродистая и теплоустойчивая сталь*	$\frac{\sigma_B}{2,4}$ ,	$\frac{\sigma_{0,2}/t}{1,5}$ ,	$\frac{\sigma_{10(5)}/t}{1,5}$ ,	$\frac{\sigma_{1/10(5)}/t}{1,0}$
Аустенитная хромоникелевая сталь	$\frac{\sigma_B}{3,0}$ ,	** $\frac{\sigma_{0,2}/t}{1,5}$ ,	$\frac{\sigma_{10(5)}/t}{1,5}$ ,	$\frac{\sigma_{1/10(5)}/t}{1,0}$
Чугун с шаровидным графитом при	$\frac{\sigma_B}{4,8}$ ,	$\frac{\sigma_{0,2}}{3,0}$		

$\delta_5 \geq 12\%$ после отжига				
Чугун с пластинчатым графитом, ковкий чугун и чугун с шаровидным графитом при: после отжига	*** $\frac{oB}{7,0}$			
$\delta_5 < 12\%$ без отжига	*** $\frac{oB}{9,0}$			
Медь и медные сплавы	**** $\frac{oB}{3,5}$	$\frac{oB}{2,4}$	$\frac{o1,0/t}{1,5}$	$\frac{o10(5)/t}{1,5}$

\* Для углеродистой и теплоустойчивой стали повышенной прочности ( $oB > 490$  МПа и минимальное относительное удлинение  $\delta_5 < 20\%$ ) запас прочности по пределу текучести следует увеличить на 0,025 на каждый процент уменьшения относительного удлинения ниже 20%.

\*\* Характеристики прочности должны определяться без учета термического и механического упрочнения. Условие неприменимо для деталей, в которых недопустима пластическая деформация (фланцы, шпильки). Допускается использовать минимальное значение условного предела текучести при остаточной деформации 0,2% с запасом 1,15.

\*\*\* При расчете на изгиб допускаемые напряжения принимаются уменьшенными на 50%.

\*\*\*\* Условие используется, если в стандартах или технических условиях на металл отсутствуют гарантируемые значения  $oB, o1,0/t, o10(5)/t$ .

При выполнении контрольных расчетов деталей, изготовленных из стали 12ХМФ, допускается использовать значения допускаемых напряжений, приведенных в табл. 2.1-2.4. для стали 12Х1МФ.

2.4. В качестве расчетных характеристик прочности металла следует принимать:

временное сопротивление при растяжении  $oB$ ;

предел текучести  $oT/t$  или условный предел текучести  $o0,2/t, o1,0/t$ ;

условный предел длительной прочности  $o10(4)/t, o10(5)/t, o2 \times 10(5)/t, o3 \times 10(5)/t$ ;

условный предел ползучести  $o1/10(5)/t$ .

Значения характеристик  $oB, oT/t, o0,2/t, o1,0/t$  следует принимать равными минимальным значениям, установленным в соответствующих стандартах или технических условиях для металла данной марки.

Значения характеристик  $\sigma_{10(4)/t}$ ,  $\sigma_{10(5)/t}$ ,  $\sigma_2 \times 10(5)/t$ ,  $\sigma_3 \times 10(5)/t$  и  $\sigma_{1/10(5)/t}$  следует принимать равными средним значениям, установленным в соответствующих стандартах или технических условиях для металла данной марки.

Отклонения характеристик в меньшую сторону допускаются не более чем на 20% от среднего значения.

Допускается использование  $\sigma_{T/t}$  вместо  $\sigma_{0,2/t}$ , если в стандартах или технических условиях на металл нормированы значения  $\sigma_{T/t}$  и отсутствуют нормированные значения  $\sigma_{0,2/t}$ .

Уровень расчетных характеристик используемых металлов и полуфабрикатов должен быть подтвержден статистической обработкой данных испытаний, периодическим контролем качества продукции и положительным заключением специализированной научно-исследовательской организации в соответствии с требованиями Правил госгортехнадзора.

2.5. Для стальных отливок номинальное допускаемое напряжение следует принимать равным следующим величинам:

85% значений допускаемого напряжения, определенного согласно табл. 2.1-2.4 для одноименной марки катаной или ковальной стали, если отливки подвергаются сплошному неразрушающему контролю;

75% от указанных в табл. 2.1-2.4. значений, если отливки не подвергаются сплошному неразрушающему контролю.

2.6. Для стальных деталей, работающих в условиях ползучести при разных за расчетный ресурс расчетных температурах, за допускаемое разрешается принимать напряжение  $[\sigma_e]$ , вычисленное по формуле

$$[\sigma_e] = \frac{[\sigma_1]}{\left[ \sum_{i=1}^n \frac{\tau_i}{\tau_0} \left( \frac{[\sigma_1]}{[\sigma_i]} \right)^m \right]^{\frac{1}{m}}},$$

где  $T_1, T_2, \dots, T_n$  - длительность периодов эксплуатации деталей с температурой стенки соответственно  $t_1, t_2, \dots, t_n$ , ч;

$[\sigma]_1, [\sigma]_2, \dots, [\sigma]_n$  - номинальные допускаемые напряжения для расчетного ресурса при температурах  $t_1, t_2, \dots, t_n$ , МПа;

$$\tau_0 = \sum_{i=1}^n \tau_i$$

- общий расчетный ресурс, ч;

$m$  - показатель степени в уравнении длительной прочности стали.

Для углеродистых, низколегированных хромомолибденовых и хромомолибденованадиевых, а также аустенитных сталей допускается принимать  $m = 8$ . Периоды эксплуатации при разной

температуре стенки рекомендуется принимать по интервалам температуры 5 или 10 °С.

Определение эквивалентных напряжений по приведенной упрощенной методике рекомендуется принимать для интервала температур не более 30 °С. При необходимости определения эквивалентных допускаемых напряжений для интервала температур более 30 °С следует использовать среднее значение показателя степени согласно данным экспериментальных исследований с базой испытаний не менее 0,1 от ресурса, но не менее 10(4) ч.

2.7. Расчетные характеристики прочности и номинальные допускаемые напряжения следует принимать для расчетных температур стенки, определенных согласно п. 1.4.

2.8. При определении допустимой величины пробного давления допускаемое напряжение должно приниматься согласно табл. 2.8.

Таблица 2.8

Формулы для определения допускаемого напряжения при вычислении пробного давления

Материал	Формула	
Углеродистая, теплоустойчивая и аустенитная сталь (катаная и кованая)	$\frac{\sigma_{0,2}}{1,1}$	
Стальные отливки	$\frac{\sigma_{0,2}}{1,4}$	
Отливки из чугуна с шаровидным графитом при $\delta_5 \geq 12\%$	$\frac{\sigma_B}{2,4}$	, $\frac{\sigma_{0,2}}{1,5}$ *
Отливки из чугуна с пластинчатым графитом, из ковкого чугуна и чугуна с шаровидным графитом при $\delta_5 < 12\%$	$\frac{\sigma_B}{3,5}$	
Медь и медные сплавы	$\frac{\sigma_B}{2,0}$	, $\frac{\sigma_{1,0/t}}{1,1}$ *

\* Условие используется, если в стандартах или технических условиях на металл

характеристики нормированы.

2.9. При расчете стальных деталей, работающих под наружным давлением, допускаемое напряжение должно быть уменьшено в 1,2 раза по сравнению со случаем, когда используются формулы расчета по внутреннему давлению (например, для дымогарных труб).

Таблица 2.9

Рекомендуемая

Номинальные допускаемые напряжения  $[\sigma]$  для расчетного ресурса 4·х 10(5) ч

t, °C	Марка стали				
	20	12МХ	15ХМ	12Х1МФ	15Х1М1Ф
1	2	3	4	5	6
360	103	-	-	-	-
380	83	-	-	-	-
400	62	-	-	-	-
410	57	-	-	-	-
420	51	-	-	-	-
430	45	-	-	-	-
440	39	-	-	-	-
450	35	-	-	<u>138</u>	-
460	30	<u>123</u>	<u>125</u>	125	150
470	25	104	115	115	125
480	21	85	98	103	110
490	-	75	82	92	100
500	-	63	68	83	92
510	-	48	58	76	84
520	-	37	46	66	75
530	-	31	35	59	67
540	-	-	28	53	60
550	-	-	20	48	54
560	-	-	-	43	49
570	-	-	-	38	44
580	-	-	-	34	40
590	-	-	-	30	36
600	-	-	-	27	32

### 3. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ЭЛЕМЕНТОВ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ВНУТРЕННИМ ДАВЛЕНИЕМ

### 3.1. Условные обозначения

3.3.1. В Нормах приняты условные обозначения, представленные в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Символ	Название	Единица измерения
1	2	3
$D$	Внутренний диаметр расчетной детали	мм
$D_a$	Наружный диаметр расчетной детали	мм
$D_m$	Средний диаметр расчетной детали	мм
$\varphi$	Расчетный коэффициент прочности	-
$\varphi_d$	Коэффициент прочности при ослаблении отверстиями	-
$\varphi_c$	Коэффициент прочности при ослаблении отверстиями с учетом укрепления	-
$\varphi_w$	Коэффициент прочности при ослаблении сварными соединениями	-
$S_o$	Минимальная расчетная толщина стенки без прибавок при $\varphi = 1,0$	мм
$\Delta$	Предельное минусовое отклонение по толщине стенки детали	%
$d$	Диаметр отверстия в расчетной детали	мм
$[p]$	Допустимое рабочее давление	МПа
$t_m$	Температура рабочей среды (для насыщенного пара принимается при расчетном давлении)	°С
$\Delta_t$	Превышение температуры рабочей среды, поступающей в коллектор из отдельных змеевиков, над средней ее температурой; это превышение связано с режимными и гидродинамическими	°С

	условиями работы котла	
$R$	Радиус кривизны оси криволинейного коллектора	мм
$\sigma$	Приведенное напряжение от внутреннего давления	МПа
$s_{Ri} (i = 1, 2, 3)$	Расчетная толщина стенки колена на внешней, внутренней и нейтральной стороне соответственно	мм
$D_{a \max} - D_{a \min}$	Максимальный и минимальный наружный диаметр сечения колена соответственно	мм
$\alpha$	Овальность поперечного сечения колена: $\alpha = 2 \frac{D_{a \max} - D_{a \min}}{D_{a \max} + D_{a \min}} 100$	%
$K_i (i = 1, 2, 3)$	Торовый коэффициент колена	-
$Y_i (i = 1, 2, 3)$	Коэффициент формы колена	-
$h$	Высота выпуклой части эллиптического или полусферического (полушарового) днища при номинальном внутреннем диаметре	мм
$h_a$	Высота выпуклой части полусферического днища при номинальном наружном диаметре	мм
$l$	Длина цилиндрического борта выпуклого днища или расстояние от оси сварного шва до плоского днища	мм
$S_1$	Номинальная толщина плоского днища или крышки (заглушки) в плоской части	мм
$S_{1R}$	Расчетная толщина плоского днища или крышки в плоской части	мм
$S_2$	Толщина плоского днища в месте кольцевой выточки у перехода к цилиндрической части	мм
$S_3$	Толщина крышки по участку действия усилия от болтов (шпилек)	мм

$D_k$	Расчетный диаметр крышки	мм
$D_b$	Диаметр окружности центров болтов крышки	мм
$D_u$	Средний диаметр прокладки уплотнения крышки	мм
$r$	Внутренний радиус закругления	мм
$n$	Длина в свету большего диаметра овальной плоской крышки или большей стороны в свету прямоугольного днища или крышки	мм
$m$	Длина в свету меньшего диаметра овальной плоской крышки или меньшей стороны в свету прямоугольного днища или крышки	мм
$Y$	Коэффициент, учитывающий отношение сторон овальной или прямоугольной крышки	-
$K_m$	Коэффициент, характеризующий тип крышки	-
$K$	Коэффициент, характеризующий тип днища	-
$K_o$	Коэффициент, учитывающий ослабление днища отверстиями	-
$\sum d_i$	Сумма диаметров отверстий или их хорд в диаметральном сечении круглого плоского днища	мм

## 3.2. Цилиндрические барабаны и коллекторы

### 3.2.1. Расчет толщины стенки

3.2.1.1. Номинальная толщина стенки обечаек барабана (корпуса котла) или цилиндрической части коллектора должна быть не менее определенной по формуле

$$S = S$$

+ c,

где  $s_R = \frac{pD_a}{2\varphi[\sigma] + p}$ , если расчет выполняется по наружному диаметру, и

$s_R = \frac{pD_a}{2\varphi[\sigma] - p}$ , если расчет выполняется по внутреннему диаметру.

Формулы пригодны при соблюдении следующих условий:

для барабанов и коллекторов, содержащих воду, пароводяную смесь или насыщенный пар:

$$\frac{s - c}{D} < 0,2 \quad \text{или} \quad \frac{s - c}{D} < 0,3;$$

для коллекторов, содержащих перегретый пар:

$$\frac{s - c}{D} < 0,25$$

Для криволинейных  
и торовых  
коллекторов при

R

D

$\leq 5$  расчет толщины  
стенки должен  
производиться с

a

учетом п. 3.3.2.

3.2.1.2. Расчетные коэффициенты прочности  $\varphi$  обечаек барабанов и цилиндрической части коллекторов с отверстиями и (или) со сварными соединениями следует определять согласно разделу 4.

3.2.1.3. Для барабанов, изготавливаемых из листов разной толщины и соединяемых продольными швами при стыковке листов по совпадению средних диаметров, расчет толщины стенки должен производиться для каждого листа с учетом имеющихся в нем ослаблений.

При стыковке листов разной толщины по внутреннему диаметру требуется дополнительно проверить местные напряжения в месте стыка листов по методике расчета на прочность, согласованной со специализированными научно-исследовательскими организациями.

3.2.1.4. Суммарная прибавка  $c$  должна приниматься согласно разделу 1.

Для обечаек барабанов и коллекторов, свариваемых из листа, а также кованных с последующей механической обработкой при номинальной толщине стенки более 20 мм допускается принимать  $c_{11} = 0$ . Если наибольшее минусовое отклонение по толщине листа превышает 3%, то в прибавке  $c_{11}$  следует учесть это превышение.

Для коллекторов, изготавливаемых из труб, прибавка  $c_{11}$  должна определяться по формуле

$$c_{11} = \frac{\Delta}{100} \left(1 + \frac{\Delta}{100}\right) s_R,$$

если неизвестна номинальная толщина стенки, и по формуле

$$c_{11} = \frac{\Delta}{100} s,$$

если номинальная толщина стенки известна или предварительно принята.

Для обечаек барабанов и прямолинейных коллекторов  $c_{12} = 0$ .

Для криволинейных коллекторов при  $R/Da \leq 5$  значение прибавки  $c_{12}$  должно приниматься так же, как для колен.

Для обечаек барабанов из стали повышенной прочности при  $\sigma_B \geq 550$  МПа и рабочем давлении более 8 МПа прибавка  $c_{21}$  должна предусматривать возможность удаления коррозионно-усталостных дефектов без заварки; она принимается в зависимости от условий и опыта эксплуатации котла данного типа, что должно согласовываться со специализированными научно-исследовательскими организациями; значение прибавки должно быть не менее 5 мм. Прибавка менее 5 мм должна согласовываться со специализированными научно-исследовательскими организациями.

3.2.1.5. При выборе номинальной толщины стенки необходимо учитывать следующее:

номинальная толщина стенки барабана или коллектора, изготавливаемых из листа, должна быть не менее 6 мм; допускается для котлов паропроизводительностью менее 1 т/ч при рабочем давлении не более 0,5 МПа принимать номинальную толщину стенки не менее 4 мм;

номинальная толщина стенки коллектора при изготовлении и фактическая толщина стенки коллектора при эксплуатации должны быть не менее значений, указанных в табл. 3.2, но не менее значений, полученных в результате расчетов на прочность;

Таблица 3.2

S, мм	D <sub>a</sub> , мм				
	<51	<=70	<=90	<=108	>108
При изготовлении	2,5	3,0	4,0	4,5	5,0

При эксплуатации	2,0	2,4	3,2	3,6	4,0
------------------	-----	-----	-----	-----	-----

толщину стенок барабанов и коллекторов, к которым присоединяются трубы при помощи развальцовки, рекомендуется принимать не менее 16 мм; применение стенок толщиной менее 13 мм не допускается;

толщина стенок обогреваемых барабанов и коллекторов без изоляции должна быть не более следующей:

22 мм для барабанов и 10 мм для коллекторов, расположенных в топке;

30 мм для барабанов и 13 мм для коллекторов, расположенных в газоходах при температуре газов не выше 900 °С;

50 мм для барабанов и 20 мм для коллекторов, расположенных в газоходах при температуре газов не выше 600 °С.

Указанные толщины могут быть увеличены, если это будет обосновано соответствующими расчетами, согласованными со специализированными научно-исследовательскими организациями, с учетом местных температурных напряжений на внутренней и наружной поверхности.

3.2.1.6. Для коллекторов, изготавливаемых из одной или нескольких бесшовных труб, на концах прямых участков, растачиваемых под стыковую сварку, допускается утонение стенки до минимальной расчетной толщины стенки прямой трубы, определяемой по формуле

$$s_0 = \frac{pD_a}{2[\sigma] + p}$$

Расстояние между выходом расточки (обточки) под сварку и кромкой ближайшего отверстия

по продольной оси коллектора должно быть не менее  $\sqrt{D_m(s-c)}$ . Если это условие не соблюдается (но выполняются требования Правил госгортехнадзора по расположению отверстий), то вместо  $S_o$  следует принять  $S_R$ . Коэффициент прочности  $\varphi_d$  в этом случае допускается определять согласно п. 4.3.3.10, где полная площадь должна приниматься на длине, равной расстоянию между центрами отверстий при двух отверстиях с расположением

сварного соединения между ними, или на длине, равной  $\sqrt{D_m(s-c)} + 0,5d$  от оси отверстия по направлению к оси сварного шва при расположении вблизи сварного соединения одного отверстия.

### 3.2.2. Допустимое давление

3.2.2.1. Допустимое рабочее давление в барабанах и коллекторах при контрольных расчетах должно быть не более значений, полученных по одной из следующих формул:

$$[p] = \frac{2(s-c)\varphi[\sigma]}{D_a - (s-c)},$$

если расчет выполняется по наружному диаметру;

$$[p] = \frac{2(s-c)\varphi[\sigma]}{D + (s-c)},$$

если расчет выполняется по внутреннему диаметру.

Примечания: 1. Коэффициент прочности  $\varphi$  следует принимать в соответствии с п. 3.2.1.2.

2. Значение прибавки  $c$  следует принимать в соответствии с п. 3.2.1.4, при этом  $cI = (\frac{\Delta}{100})s$ .

3.2.2.2. При выполнении контрольных расчетов по данным измерений толщины стенки вместо  $s - c$  следует применять  $s_f - c_2$ . Величина  $s_f$  должна приниматься равной наименьшему значению из четырех измерений толщины по концам двух взаимно перпендикулярных диаметров в одном сечении при числе проверяемых сечений не менее одного на каждые два метра длины барабана (коллектора), но не менее чем в трех сечениях для всего барабана (коллектора).

3.2.2.3. Величина пробного давления при гидравлическом испытании не должна превышать значения, полученного согласно пп. 3.2.2.1 и 3.2.2.2 при замене допускаемого напряжения  $[o]$  на  $[o]_h$ .

3.2.2.4. Величина допускаемого рабочего или пробного давления в барабане или коллекторе не должна превышать соответственно рабочего или пробного давления, допускаемого по условиям прочности для остальных деталей данного барабана или коллектора, в частности для днищ.

### 3.2.3. Приведенное напряжение

3.2.3.1. Приведенное напряжение в барабанах и коллекторах должно определяться по одной из следующих формул:

$$\sigma = \frac{p[D_a - (s-c)]}{2\varphi(s-c)},$$

если расчет выполняется по наружному диаметру;

$$\sigma = \frac{p[D + (s - c)]}{2\varphi(s - c)},$$

если расчет выполняется по внутреннему диаметру.

При выполнении контрольных расчетов по данным измерений толщины стенки вместо  $s - c$  следует применять  $s_f - c_2$  согласно п. 3.2.2.2.

Значения коэффициентов прочности  $\varphi$  и прибавки  $c$  следует принимать согласно пп. 3.2.1.2 и 3.2.1.4 соответственно.

### 3.2.4. Расчетная температура стенки

3.2.4.1. Расчетную температуру стенки барабанов и охлаждающих топку слоевого сжигания панелей из углеродистой или теплоустойчивой стали, содержащих воду, пароводяную смесь или насыщенный пар, допускается определять без теплотехнических расчетов по упрощенным формулам для средней температуры стенки:

для барабанов, вынесенных из газохода, надежно изолированных или защищенных другим надежным способом от обогрева извне:

$$t = t_m;$$

для неизолированных барабанов, расположенных в конвективных газоходах:

при температуре газов не выше 600 °С

$$t = t_m + 1,2s + 10 \text{ } ^\circ\text{C};$$

при температуре газов более 600 °С, но не выше 900 °С

$$t = t_m + 2,5s + 20 \text{ } ^\circ\text{C};$$

для неизолированных барабанов и охлаждающих панелей, подверженных лучеиспусканию факела или горящего слоя топлива:

$$t = t_m + 4s + 30 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

3.2.4.2. Расчетную температуру стенки коллекторов экранов, экономайзеров и перегревателей допускается определять по упрощенным формулам:

для необогреваемых (вынесенных из газохода или надежно изолированных) коллекторов экономайзеров и экранов и коллекторов насыщенного пара котлов с естественной и принудительной циркуляцией, а также входных коллекторов экономайзеров прямоточных котлов

$$t = t_m;$$

для необогреваемых коллекторов (за исключением входных) экономайзеров прямоточных котлов и коллекторов перегревателей (кроме насыщенного пара) котлов всех типов

$$t = t_m + x \Delta t;$$

для обогреваемых коллекторов из углеродистой и теплоустойчивой стали, содержащих воду, пароводяную смесь или насыщенный пар:

при температуре в газоходе не выше 600 °С

$$t = t_m + s + x \Delta t + 10 \text{ °С};$$

при температуре в газоходе от 600 до 900 °С

$$t = t_m + 2s + x \Delta t + 20 \text{ °С};$$

при температуре в газоходе выше 900 °С

$$t = t_m + 3s + x \Delta t + 30 \text{ °С};$$

Величина  $t$  не должна приниматься выше расчетной температуры газов в сечении газохода, в котором расположен коллектор.

Температуру среды  $t_m$  при определении расчетной температуры стенки для коллекторов экономайзеров (кроме входных), экранов котлов с естественной и принудительной циркуляцией и коллекторов насыщенного пара следует принимать равной температуре насыщенного пара при расчетном давлении в данном коллекторе. Для входных коллекторов экономайзеров котлов с естественной и принудительной циркуляцией температура среды должна приниматься равной температуре воды на входе в экономайзер (с учетом подогрева в пароохладителе в случае возврата воды после пароохладителя на вход в экономайзер и смешения при рециркуляции воды). Для коллекторов экономайзеров и переходных зон прямоточных котлов, а также для коллекторов перегревателей котлов всех типов она должна приниматься равной температуре среды.

Величина разверки температур во включенном в коллектор пучке  $\Delta t$  должна приниматься по тепловому расчету или по данным испытаний, но не менее 10 °С. Коэффициент  $x$ , учитывающий перемешивание среды до входа в коллектор или в нем, должен приниматься равным 0,5, за исключением случаев, когда среда подводится к торцу коллектора; в этих случаях допускается принимать  $x = 0$ .

3.2.4.3. Для обогреваемых коллекторов из аустенитной стали расчетная температура стенки

должна приниматься средней из значений температур на внутренней и наружной поверхностях.

### 3.2.5. Требования к конструкции

3.2.5.1. Барабаны и коллекторы, имеющие отверстия, должны удовлетворять соответствующим требованиям к конструкции, изложенным в разделе 4.

3.2.5.2. В барабанах, изготовленных из листов стали разной толщины, средние линии обечаек должны совпадать.

Допускается совмещать обечайки по внутреннему диаметру, если выполняется условие п. 3.2.1.3.

## 3.3. Трубы поверхностей нагрева и трубопроводов

### 3.3.1. Расчет толщины стенки прямых труб

3.3.1.1. Номинальная толщина стенки прямой трубы поверхности нагрева или трубопровода должна быть не менее определенной по формуле

$$S = S_R + c,$$

$$s_R = \frac{pD_a}{2\varphi_w[\sigma] + p}$$

где

Формула пригодна при соблюдении условия  $(s - c)/D_a \leq 0,25$ .

Коэффициент прочности продольного или спирального сварного соединения  $\varphi_w$  должен приниматься в соответствии с разделом 4. Для бесшовных труб коэффициент прочности  $\varphi_w = 1,0$ . Коэффициент прочности поперечных сварных соединений в расчете на внутреннее давление учитывать не следует.

3.3.1.2. Величина прибавки  $c$  должна приниматься в соответствии с п. 3.2.1.4.

3.3.1.3. Номинальная толщина стенки труб при изготовлении и фактическая толщина стенки труб при эксплуатации должны быть не менее значений, указанных в табл. 3.3, но не менее значений, полученных в результате расчетов на прочность.

Таблица 3.3

S, мм	D <sub>a</sub> , мм					
	<=38	<=51	<=70	<=90	<=108	>108
При	1,80	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00

изготовлении						
При эксплуатации	1,45	1,60	2,00	2,40	2,80	3,20

Номинальная толщина стенок труб, обогреваемых газами с температурой выше 900 °С, должна быть не более 8 мм, а при непосредственном воздействии лучистого тепла топки - не более 6,5 мм.

Допускается применение обогреваемых труб с большей толщиной стенки, если это будет обосновано соответствующими расчетами, согласованными со специализированными научно-исследовательскими организациями, с учетом местных температурных напряжений на внутренней и наружной поверхности.

3.3.1.4. На концах прямых участков бесшовных труб, растачиваемых под стыковую сварку, допускается утонение стенки до минимальной расчетной толщины прямой трубы, определяемой по формуле

$$s_0 = \frac{pD_a}{2[\sigma] + p}$$

Допускается уменьшение толщины стенки в месте расточки прямых труб под сварку до  $0,95S_o$  при условии, что суммарная длина расточенного участка по продольной оси трубы после сварки не будет превышать меньшую из величин:  $5s$  или  $0,5D_a$ .

### 3.3.2. Расчет толщины стенки колен и змеевиков

3.3.2.1. Расчетная толщина стенки на внешней, внутренней и нейтральной сторонах (участках) колена и змеевика должна быть не менее определенной по формуле

$$S = \frac{K Y}{R i} (i = 1, 2, 3).$$

Расчетная толщина стенки прямой трубы  $S_R$  должна определяться согласно п. 3.3.1.1. Для участка колена, где продольный сварной шов отсутствует, коэффициент прочности сварного шва  $W = 1,0$ .

Расчеты на прочность колен по приведенной ниже методике являются обязательными при учете изменения направления от прямолинейного более чем на 15°.

3.3.2.2. Торový коэффициент для внешней, внутренней и нейтральной сторон колена должен определяться соответственно по формулам:

$$K_1 = \frac{4 \frac{R}{D_a} + 1}{4 \frac{R}{D_a} + 2}; \quad K_2 = \frac{4 \frac{R}{D_a} - 1}{4 \frac{R}{D_a} - 2}; \quad K_3 = 1.$$

Нейтральная сторона колена составляет участок колена, расположенный под углом  $15^\circ$  в оба направления от продольного среднего сечения колена.

3.3.2.3. Для колен из углеродистой, легированной и аустенитной сталей, температура стенки которых не превышает 350, 400, 450 °С соответственно, значения коэффициентов формы следует определять по формулам:

$$Y_1 = 0,12 \left( 1 + \sqrt{1 + 0,4 \frac{a}{\alpha} q} \right); \quad Y_2 = Y_1; \quad Y_3 = 0,12 \left( 1 + \sqrt{1 + 0,4 \frac{a}{\alpha} q} \right),$$

где 
$$\alpha = \frac{s_R}{D_a} = \frac{p}{2[\sigma] + p};$$

$$q = 2\alpha \frac{R}{D_a} + \frac{1}{2}.$$

3.3.2.4. Для колен из углеродистой, легированной и аустенитной сталей, температура которых выше 400, 450, 525 °С соответственно, значения коэффициентов формы следует определять по формулам:

$$Y_1 = 0,4 \left( 1 + \sqrt{1 + 0,015 \frac{a}{\alpha} q} \right); \quad Y_2 = Y_1; \quad Y_3 = 0,4 \left( 1 + \sqrt{1 + 0,015 \frac{a}{\alpha} q} \right).$$

Значения  $a$  и  $q$  должны приниматься согласно п. 3.3.2.3 с учетом п. 3.3.2.6.

3.3.2.5. Для колен, расчетная температура которых более указанной в п. 3.3.2.3, но менее указанной в п. 3.3.2.4, коэффициенты  $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y_3$  должны определяться линейным интерполированием в зависимости от значения температуры. При этом в качестве опорных величин должны приниматься значения коэффициентов, соответствующие указанным граничным температурам.

3.3.2.6. При выполнении расчетов по формулам, приведенным в пп. 3.3.2.3 и 3.3.2.4, должны выполняться следующие условия:

если значения коэффициентов  $Y_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) получаются по расчету менее единицы, то следует принимать  $Y_i = 1$ ;

если вычисленное значение  $q$  превышает единицу, то следует принимать  $q = 1$ ;

при  $a < 0,03$  значения коэффициентов формы  $Y_i$  и поправочного коэффициента  $q$  следует принимать равными их значению при  $a = 0,03$ ;

допускается принимать  $Y_i = 1$  для труб поверхностей нагрева, если  $D_a \leq 76$  мм и  $a \leq 10\%$ ;

если в указанном случае  $D_a \leq 5l$  мм, то допускается принимать  $Y_i = 0,95$ .

3.3.2.7. Номинальную толщину стенки колена следует принимать наибольшей из значений, полученных для указанных трех участков колена, согласно условию  $s_i \geq s_{Ri} + c$  ( $i = 1, 2, 3$ ).

Значение расчетной толщины стенки  $s_{Ri}$  следует принимать по пп. 3.3.2.1-3.3.2.6.

Для секторных колен, изготовленных из бесшовных труб, номинальную толщину стенки следует выбирать по внутренней стороне колена, где  $s \geq s_{R2} + c$

Если секторное колено изготавливается из сварных труб и коэффициент прочности сварного шва  $\varphi_w < 1$ , то следует проверить значение номинальной толщины стенки по участку расположения сварного шва.

3.3.2.8. Значение прибавки  $c$  следует определять согласно п. 3.3.1.2, а прибавку  $c_{12}$  для каждой из указанных в п. 3.3.2.2 трех сторон следует принимать по техническим условиям (ТУ) на изделие, согласованным со специализированными научно-исследовательскими организациями.

В случае отсутствия в ТУ на изготовление колен данных по технологическому утонению стенки колен при определении прибавки  $c_{12}$  для колен, изготавливаемых указанными широко известными способами, необходимо учесть следующее:

для гибов из труб, изготавливаемых на трубогибочном оборудовании методом наматывания на сектор, прибавка  $c_{12}$  к  $s_{R1}$  должна быть не менее определенной по формулам:

для необогреваемых труб

$$c_{12} = s \left( \frac{1}{1 + 3 \frac{R}{D_a}} \right);$$

для труб поверхностей нагрева

$$c_{12} = s \left( \frac{1}{1 + 3 \frac{R}{D_a}} \right);$$

для штампованных колен, изготавливаемых в закрытых штампах, или для гибов, изготавливаемых на станках с нагревом токами высокой частоты и осевым поджатием, прибавка  $c_{12}$  к  $s_{R1}$  должна приниматься в пределах от 0,05(s) до 0,1(s); в этих двух случаях (для гибов из труб, изготавливаемых на трубогибочном оборудовании методом наматывания на сектор, и для штампованных колен) прибавка  $c_{12}$  к  $s_{R3}$  равна нулю, а расчет по внутренней

стороне гйба не производится;

для колен, изготовляемых на роогообразном сердечнике, прибавка  $c_{12}$  равна нулю;

для секторных колен прибавка  $c_{12}$  равна нулю;

для штампосварных колен с расположением двух продольных сварных швов по внутренней и внешней стороне колена прибавка  $c_{12}$  к  $s_{R2}$  должна приниматься в пределах от 0,05s до 0,1s с учетом  $\varphi_w$ , если его значение менее единицы;

для штампосварных колен с расположением поперечного сварного шва в середине длины колена прибавка  $c_{12}$  к  $s_{R3}$  равна нулю, а прибавка  $c_{12}$  к  $s_{R1}$  должна приниматься в пределах от 0,05s до 0,1s; в этом случае расчет по внутренней стороне колена не производится, так как на этой стороне колено имеет утолщение стенки более значительное, чем величина коэффициента  $K2$

Если определение прибавки  $c_{12}$  производится, когда окончательно не выбрана номинальная толщина стенки колена, то следует задаться ее значением, например, равным значению номинальной толщины стенки прямой трубы согласно пп. 3.3.1.1-3.3.1.3, с последующей проверкой по окончательно выбранному значению номинальной толщины стенки колена.

3.3.2.9. Допустимая толщина стенки  $[s]$  должна быть не менее определенной по формулам:

для колен  $[s] = s_{Ri} + c_2$ ,

для прямых труб  $[s] = s_R + c_2$ .

При определении  $[s]$  в условиях эксплуатации значение прибавки  $c_2$ , определяемое согласно разделу 1, допускается уменьшить пропорционально планируемому ресурсу эксплуатации до замены детали или до очередного контроля толщины стенки.

Для тонкостенных колен паропроводов, трубопроводов и наружных перепускных труб диаметром более 200 мм при  $a \leq 0,03$  прибавку  $c_2$  следует принимать в пределах от 1 до 3 мм в зависимости от опыта эксплуатации. Применение прибавки менее 3 мм для труб наружным диаметром 500 мм и более должно быть согласовано со специализированными научно-исследовательскими организациями.

### 3.3.3. Допустимое давление

3.3.3.1. Допустимое рабочее давление в коленах труб котлов и в прямых трубах трубопроводов следует определять по формуле

$$[p] = \frac{2\varphi_w[\sigma]}{D_a} \frac{s - c}{K_1 Y_1}$$

При выполнении контрольных расчетов по данным измерений толщины стенки вместо  $c$  -  $s$  следует применять  $s_f - c_2$ .

Коэффициент прочности  $\varphi_w$  следует принимать согласно разделу 1.

Коэффициенты  $K_i$  и  $Y_i$  следует определять согласно пп. 3.3.2.2-3.3.2.6.

Расчет по приведенным формулам следует производить для всех характерных участков колена ( $i = 1, 2, 3$ ). Значение прибавки  $c$  следует принимать согласно пп. 3.2.1.4 и 3.3.2.8. При этом прибавка  $c_1$  должна определяться по номинальной толщине стенки.

В качестве допустимого давления должно приниматься минимальное из вычисленных значений. Для прямых труб  $K_i = Y_i = 1$ .

3.3.3.2. При выполнении контрольных расчетов фактическая толщина стенки для прямых труб должна определяться согласно п. 3.2.2.2; для колен следует выявить наименьшее значение толщины стенки в каждом характерном участке колена, т.е. на внешней, внутренней стороне и по нейтральной линии. Измерения следует производить не менее чем в трех поперечных сечениях колена, одно из которых должно делить колено на две равные части; на каждом из участков следует производить измерения не менее чем в четырех точках.

3.3.3.3. Величина пробного давления при гидравлическом испытании колен и прямых труб котлов и трубопроводов не должна превышать значения, полученного согласно п. 3.3.3.1 при замене допускаемого напряжения  $[o]$  на  $[o]_h$ .

3.3.3.4. Величина допустимого рабочего или пробного давления в трубе или трубопроводе должна приниматься равной минимальному значению соответственно рабочего и пробного давления, полученного для прямого участка трубы или рассматриваемых участков каждого из имеющихся колен.

### 3.3.4. Расчетная температура стенки

3.3.4.1. Расчетная температура стенки труб поверхностей нагрева котлов всех систем должна определяться по нормативным методам теплового и гидравлического расчетов котлов. При этом должны быть рассмотрены различные участки пакета, имеющие как наивысшую температуру пара, так и наибольшую тепловую нагрузку, а также участки, конструктивные особенности которых могут обусловить наиболее высокую температуру стенки. При установке за пакетом, для которого определяется температура стенки, пароохладителя следует ввести прибавку к расчетной температуре среды, учитывающую возможное повышение фактического тепловосприятия пакета над расчетным. Величина прибавки должна выбираться конструкторской организацией в пределах от 0 до 10 °С.

3.3.4.2. Допускается определение расчетной температуры стенки труб поверхностей нагрева по упрощенным формулам:

для вертикальных и слабонаклонных (до 30° от вертикали) котельных труб котлов с естественной и принудительной циркуляцией при рабочем давлении не более 16 МПа и при максимальных удельных тепловосприятиях поверхности нагрева по наружной поверхности труб  $q_{max} < 407 \text{ кВт/м}^2$  ( $350 \cdot 10(3) \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч)}$ )

$$t = t_m + 60 \text{ } ^\circ\text{C};$$

для труб конвективных перегревателей котлов с рабочим давлением не более 2,5 МПа и температурой пара не выше 425 °С при максимальных удельных значениях тепловосприятия  $q_{max} \leq 70 \text{ кВт/м}^2$  ( $60 \cdot 10(3) \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч)}$ )

$$t = t_m + 70 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

для труб участков первичных перегревателей, расположенных в зоне температур газов менее 650 °С, независимо от рабочего давления котлов (если коэффициент гидравлической разверки не менее 0,95)

$$t = t_m + 50 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

для экономайзеров некипящего типа котлов с естественной и принудительной циркуляцией

$$t = t_m + 30 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

для конвективных экономайзеров прямоточных котлов

$$t = t_m + 40 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

Температуру среды следует принимать равной определенной из теплового расчета температуре на выходе из пакета при номинальной производительности котла.

3.3.4.3. Для необогреваемых труб расчетную температуру стенки следует принимать равной температуре среды на входе в трубу.

Для необогреваемых параллельно включенных труб (количество труб две и более) учитываемую разверку температур на входе следует принимать так же, как для коллекторов (см. п. 3.2.4.2).

3.3.4.4. Расчетную температуру стенки труб поверхностей нагрева пароводяных теплообменников (пароохладителей и др.) следует принимать:

для охладителей, расположенных в коллекторах насыщенного пара, равной температуре насыщения;

для охладителей, размещенных в коллекторах перегретого пара, равной температуре перегретого пара в данном коллекторе;

для охладителей, расположенных в водяном пространстве барабана котла, а также для теплообменников двухконтурных котлов равной температуре более горячей среды, определенной по тепловому расчету.

3.3.4.5. Расчетную температуру стенки труб поверхностей нагрева пароводяных и газопаровых теплообменников следует определять по общей методике теплового расчета.

### **3.3.5. Приведенное напряжение**

3.5.1. Приведенное напряжение от действия внутреннего давления в коленах труб и в прямых трубах котлов и трубопроводов следует определять по одной из следующих формул:

по номинальной толщине стенки

$$\sigma = \frac{p}{2\varphi_w} \left( D_a - \frac{s-c}{K_i Y_i} \right) \frac{K_i Y_i}{s-c};$$

по фактической толщине стенки

$$s = \frac{pD}{2[\sigma] \cos \alpha - p} + c;$$

Для колен следует принимать наибольшее из полученных трех значений  $s$ .

Значения величин  $\varphi_w$ ,  $K_i$ ,  $Y_i$  и  $c$  следует принимать согласно п. 3.3.3.1.

### 3.3.6. Требования к конструкции

3.3.6.1. Трубопроводы, имеющие неукрепленные и (или) укрепленные отверстия (тройниковые соединения и т.п.), должны удовлетворять соответствующим требованиям к конструкции, изложенным в разделе 4.

### 3.3.7. Дополнительные напряжения

3.3.7.1. Дополнительные напряжения от действия внешних нагрузок (осевой силы, изгибающих и крутящих моментов) и самокомпенсаций теплового расширения должны определяться и ограничиваться в соответствии с п. 5.1.

### 3.3.8. Поверочный расчет на усталость

3.3.8.1. Поверочный расчет на малоцикловую усталость следует производить согласно п. 5.1.5.

## 3.4. Конические переходы

### 3.4.1. Расчет толщины стенки

3.4.1.1. Номинальная толщина стенки конического перехода должна быть не менее определенной по одной из следующих формул:

для бесшовных (точеных, штампованных, обсаженных из труб, кованных и др.) конических переходов

$$s = \frac{pD}{2[\sigma]\cos\alpha - p} + c;$$

для конических переходов с продольным сварным швом

$$s = \frac{pD}{2[\sigma]\varphi_{\text{ш}}\cos\alpha - p} + c,$$

где  $D$  - внутренний диаметр большего основания конического перехода, мм;

$\alpha$  - угол конусности, равный половине угла у вершины конического перехода, град (рис. 3.1).

Формулы пригодны при соблюдении следующих условий:

для  $\alpha \leq 15^\circ$

$$0,003 \leq \frac{s-c}{D} \leq 0,35,$$

для  $15^\circ < \alpha \leq 45^\circ$

$$0,003 \leq \frac{s-c}{D} \leq 0,15 \text{ и } \frac{D_0}{D} \leq \left[ 1 - 2 \frac{\sin\alpha}{\sqrt{\cos\alpha}} \sqrt{\left( 1 + \frac{s-c}{D} \right) \frac{s-c}{D}} \right],$$

где  $D_0$  - внутренний диаметр меньшего основания конического перехода, мм.

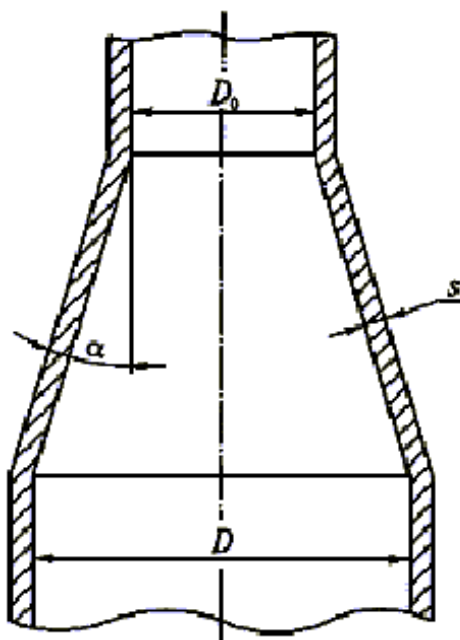


Рис. 3.1. Схема конического переходного участка

3.4.1.2. Коэффициент прочности  $\varphi_w$  продольного сварного соединения должен приниматься согласно разделу 4.

3.4.1.3. Величина прибавки  $c$  должна определяться согласно п. 3.2.1.4. Производственная прибавка  $c_l$  должна приниматься равной:

для бесшовных конических переходов - значению, установленному соответствующими техническими условиями для принятой технологии изготовления конических переходов;

для конических переходов с продольным сварным швом, изготовленных из листа, - наибольшему минусовому отклонению по толщине листа.

3.4.1.4. Расчеты по приведенной методике применимы для кососимметричных конических переходов, у которых углы наклона образующей к диаметральной оси симметрии в различных плоскостях различны (в том числе один из них может быть равен нулю).

В расчетных формулах следует использовать наибольшее значение угла конусности.

### 3.4.2. Допустимое давление

3.4.2.1. Допустимое рабочее давление при контрольных расчетах изготовленных конических переходов должно определяться по следующей формуле:

$$[p] = \frac{2(s-c)[\sigma]\varphi_w \cos \alpha}{D + (s-c)}$$

Для бесшовных переходов  $\varphi_w = 1$ .

Значение прибавки  $c$  должно приниматься согласно п. 3.4.1.3.

3.4.2.2. Величина пробного давления при гидравлическом испытании не должна превышать значения, полученного согласно п. 3.4.2.1 при замене допускаемого напряжения  $[o]$  на  $[o]_h$ .

3.4.2.3. Величина принятого рабочего или пробного давления в трубопроводе не должна превышать наименьшего допустимого значения для каждой из деталей трубопровода, в частности для конических переходов.

### 3.4.3. Приведенное напряжение

3.4.3.1. Приведенное напряжение от внутреннего давления в коническом переходе должно определяться по следующей формуле:

$$\sigma = \frac{p[D + (s - c)]}{2(s - c)\varphi_w \cos \alpha}$$

Значение коэффициента прочности  $\varphi_w$  должно приниматься согласно п. 3.4.1.2.

### 3.4.4. Расчетная температура стенки

3.4.4.1. Расчетная температура стенки конического перехода должна приниматься равной наибольшей расчетной температуре стенки прямой трубы, к которой переход приваривается.

### 3.4.5. Требования к конструкции

3.4.5.1. При угле конусности  $\alpha \geq 15^\circ$  по концам конического перехода, приваренным к трубопроводу 1-й категории, рекомендуется обеспечить цилиндрические участки длиной не менее двукратной толщины стенки перехода.

3.4.5.2. Сопряжения конической и цилиндрической частей по внутренней и наружной поверхностям конического перехода, выполняемые механической обработкой, должны быть плавными (по радиусу не менее 3 мм), за исключением переходов от конической к меньшей цилиндрической части по внутренней поверхности и от конической к большей цилиндрической части по наружной поверхности.

### 3.4.6. Поверочный расчет на усталость

3.4.6.1. Поверочный расчет на малоцикловую усталость следует производить согласно п. 5.1.5.

## 3.5. Выпуклые днища

### 3.5.1. Расчет толщины стенки эллиптического и

## полусферического днища

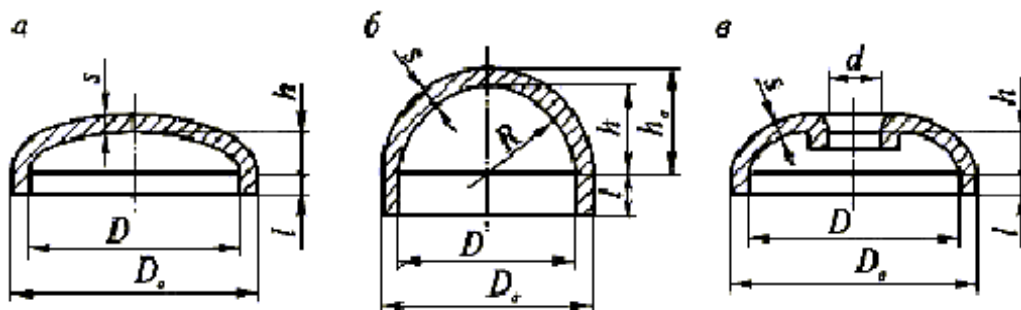


Рис. 3.2. Выпуклые днища:

а - глухое эллиптическое днище; б - глухое полусферическое днище;  
в - эллиптическое днище с лазовым отверстием

3.5.1.1. Номинальная толщина стенки днищ эллиптической или полусферической формы в соответствии с рис. 3.2 должна быть не менее определенной по формуле

$$s = s_R + c,$$

где при расчете по внутреннему диаметру

$$s_R = \frac{pD}{4\varphi[\sigma] - p} \frac{D}{2h},$$

при расчете по наружному диаметру

$$s_R = \frac{pD_a}{4\varphi[\sigma] + p} \frac{D_a}{2h_a}.$$

Формулы пригодны при соблюдении следующих условий:

$$0,5 \geq h/D \geq 0,2; 0,5 \geq h_a/D_a \geq 0,2; 0,1 \geq (s - c)/D \geq 0,0025.$$

3.5.1.2. Коэффициент прочности  $\varphi$  должен определяться согласно разделу 4.

3.5.1.3. Значение прибавки  $c$  должно определяться согласно п. 3.2.1.4.

Технологическая прибавка  $c_{12}$ , компенсирующая утонение листа при штамповке выпуклого днища, должна приниматься по данным НТД на изготовление днища.

Если номинальная толщина листа неизвестна, то для предварительной оценки прибавки  $c_{12}$  допускается определять по формуле

$$c_{12} = \frac{\Delta_{12}}{100} \left( 1 + \frac{\Delta_{12}}{100} \right) s_R.$$

Если номинальная толщина листа известна или предварительно принята, то прибавка  $c_{12}$  должна определяться по формуле

$$c_{12} = \frac{\Delta_{12}}{100} s.$$

где  $\Delta_{12}$  - утонение выпуклого днища при штамповке, принимаемое по НТД на изделие.

Допускается не учитывать утонение днища, если оно не превышает 5% номинальной толщины листа. Если утонение больше 5%, то при определении прибавки  $c_{12}$  учитывается разность между утонением  $\Delta_{12}$  и утонением  $\Delta$ , равным 5% номинальной толщины листа.

Соответственно формулы для определения прибавки  $c_{12}$  имеют вид:

$$c_{12} = \frac{\Delta_{12} - \Delta}{100} \left( 1 + \frac{\Delta_{12}}{100} \right) s_R,$$

если номинальная толщина листа неизвестна, и

$$c_{12} = \frac{\Delta_{12} - \Delta}{100} s,$$

если номинальная толщина листа известна или предварительно принята.

При расчетах максимальное утонение следует учитывать в средней части выпуклого днища (независимо от его формы) на площади, определяемой по внутренней поверхности величиной

$$\sqrt{D_m(s-c)}$$

от кромки лазерного отверстия или от центральной точки глухого днища, а также на участке перехода от цилиндрической части к выпуклой для эллиптических и торосферических днищ. Участок перехода должен рассматриваться по внутренней поверхности днища на длине не менее определяемой по формуле

$$l = 0,55\pi r,$$

где  $r = 0,095D$  для днищ эллиптической и торосферической формы.

Допускается участок перехода рассматривать по наружной поверхности выпуклого днища. В этом случае формула имеет вид

$$l_a = 0,55\pi r_a,$$

где  $r_a = r + s$  (или  $r_a = r + s_f$ ).

Если по принятой технологии изготовления днища возможна потеря на окалину, то ее следует учесть при выборе толщины листа при толщине окалины более 0,5 мм.

3.5.1.4. Номинальная толщина стенки днища должна приниматься не менее номинальной толщины стенки цилиндрического борта, определенной по расчетной толщине при  $\varphi = 1$ .

Номинальная толщина стенки днища должна быть не менее 6 мм.

Для днищ с внутренним диаметром менее 500 мм допускается толщина стенки не менее 3 мм.

3.5.1.5. Днища с переменной толщиной стенки из углеродистой стали (рис. 3.3.) должны рассчитываться согласно п. 3.5.1.1, при этом расчетная толщина стенки должна приниматься равной среднеарифметическому значению из наименьшей и наибольшей толщины:  $s = 0,5(s_1 + s_2)$ .

Формула применима при  $s_2 > s_1$ , при этом  $s_2 < 2s_1$ .

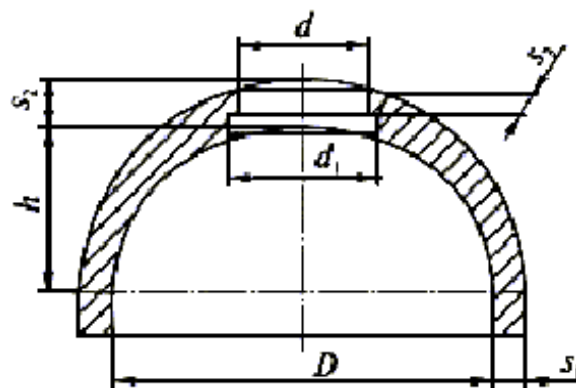


Рис. 3.3. Лазовое отверстие в выпуклом днище переменной толщины

При наличии в днище подреза для уплотнения лазерного затвора остающаяся в месте подреза толщина стенки  $s_3$  должна быть не менее  $s$ .

3.5.1.6. Для днищ с постоянной толщиной стенки минимальная толщина стенки в месте подреза для уплотнения лазерного затвора  $s_3$  (см. рис. 3.3) должна быть не менее расчетной толщины стенки днища, определенной согласно п. 3.5.1.1, при  $\varphi = 1$ .

Для днищ с постоянной и переменной толщиной стенки указанное значение толщины стенки  $s_3$  допускается уменьшить, если это подтверждено поверочным расчетом на прочность с

обоснованием ресурса эксплуатации.

### 3.5.2. Расчет толщины стенки торосферического днища

3.5.2.1. Толщина стенки торосферического днища выполняется по формулам для эллиптических днищ настоящих Норм.

Допускается расчет на прочность торосферического днища производить по формулам ГОСТ 14249.

3.5.2.2. Коэффициент прочности днища  $\varphi$  должен определяться согласно разделу 4.

3.5.2.3. Величина прибавки днища  $c$  должна определяться согласно п. 3.2.1.4.

### 3.5.3. Допустимое давление

3.5.3.1. Допустимое рабочее давление при контрольных расчетах изготовленных эллиптических, полусферических и торосферических днищ должно быть не менее определенного по формулам:

$$[p] = \frac{4(s-c)\varphi[\sigma]}{D + (s-c)\frac{2h}{D}} \frac{2h}{D},$$

если номинальным является внутренний диаметр,

$$[p] = \frac{4(s-c)\varphi[\sigma]}{D_a + (s-c)\frac{2h_a}{D_a}} \frac{2h_a}{D_a},$$

если номинальным является наружный диаметр.

Значение коэффициента прочности  $\varphi$  и значение прибавки  $c$  должны определяться согласно пп. 3.5.1.2 и 3.5.1.3.

3.5.3.2. Допустимое рабочее давление для торосферических днищ может определяться согласно ГОСТ 14249.

3.5.3.3. Величина пробного давления при гидравлическом испытании не должна превышать значения, полученного согласно пп. 3.5.3.1. и 3.5.3.2 при замене в расчетных формулах допускаемого напряжения  $[\sigma]$  на  $[\sigma]h$ .

### 3.5.4. Приведенное напряжение от внутреннего давления

3.5.4.1. Приведенное напряжение от внутреннего давления эллиптических, полусферических

и торосферических днищ должно определяться по формулам:

$$\sigma = \frac{p \left[ D + (s - c) \frac{2h}{D} \right]}{4\varphi(s - c)} \frac{D}{2h},$$

если номинальным является внутренний диаметр,

$$\sigma = \frac{p \left[ D_a - (s - c) \frac{2h_a}{D_a} \right]}{4\varphi(s - c)} \frac{D_a}{2h_a},$$

если номинальным является наружный диаметр.

Значения коэффициента прочности  $\varphi$  и величины прибавки  $c$  должны определяться согласно пп. 3.5.1.2 и 3.5.1.3.

### 3.5.5. Расчетная температура стенки

3.5.5.1. Расчетная температура стенки необогреваемого днища должна приниматься равной температуре стенки детали, к которой днище приваривается.

3.5.5.2. Для обогреваемого днища температура стенки должна приниматься согласно пп. 3.2.4.1 и 3.2.4.2, но не должна быть менее температуры стенки детали, к которой днище приваривается.

### 3.5.6. Требование к конструкции

3.5.6.1. Наибольший диаметр отверстия в выпуклых днищах должен удовлетворять условию  $d/D = < 0,61$ , если номинальным является внутренний диаметр днища, и условию  $d/D = < 0,6$ , если номинальным является наружный диаметр.

3.5.6.2. Для выпуклых днищ толщина стенки цилиндрического борта должна быть не менее расчетной толщины стенки обечайки, рассчитанной в соответствии с пп. 3.2.1.1 или 3.3.2.1 при  $\varphi = 1$ .

Если длина цилиндрической отбортованной части днища удовлетворяет условию:  $l > 0,8$

$\sqrt{D_m(s - c)}$  - для эллиптического и торосферического днища или условию  $l > 0,3$

$\sqrt{D_m(s - c)}$  - для полусферического днища, то толщина цилиндрического борта должна быть не менее толщины стенки обечайки, рассчитанной в соответствии с пп. 3.2.1.1 или 3.3.1.1 при  $\varphi = 1$ .

Если длина цилиндрического борта равна указанным величинам или менее их, то допускается толщина стенки цилиндрического борта, принятая согласно пп. 3.5.1 и 3.5.2.

3.5.6.3. Допускается применение полусферических днищ без цилиндрического борта, т.е. при  $l = 0$ .

## 3.6. Плоские крышки и днища

### 3.6.1. Расчет толщины круглых плоских днищ

3.6.1.1. Номинальная толщина круглого днища должна быть не менее определенной по формуле

$$s_l = s_{lR} + c$$

$$s_{lR} = \frac{KD}{K_0} \sqrt{\frac{p}{[\sigma] \phi_w}}$$

где

Для днищ с отбортованной цилиндрической частью, которые соответствуют рис. 3.4,е, вместо  $D$  в формулу следует подставлять величину  $(D - r)$ .

Коэффициент  $K$  следует принимать равным:

для днищ, конструкция которых дана на рис.3.4,а, при  $l \geq \sqrt{D_m s}$   $K = 0,42K_1$ , но не менее 0,35;

для днищ той же конструкции, но при  $l < \sqrt{D_m s}$ , а также для днищ конструкции, данной на рис.3.4,б, в,  $K = 0,45K_1$ , но не менее 0,35;

для днищ, конструкция которых дана на рис.3.4,г, при полном проваре толщины днища односторонним швом  $K = 0,55K_1$  и двусторонним швом  $K = 0,45K_1$ ;

для днищ, конструкция которых дана на рис.3.4,д,  $K = 0,53$ ;

для днищ, конструкция которых дана на рис.3.4,е,  $K = 0,35$ .

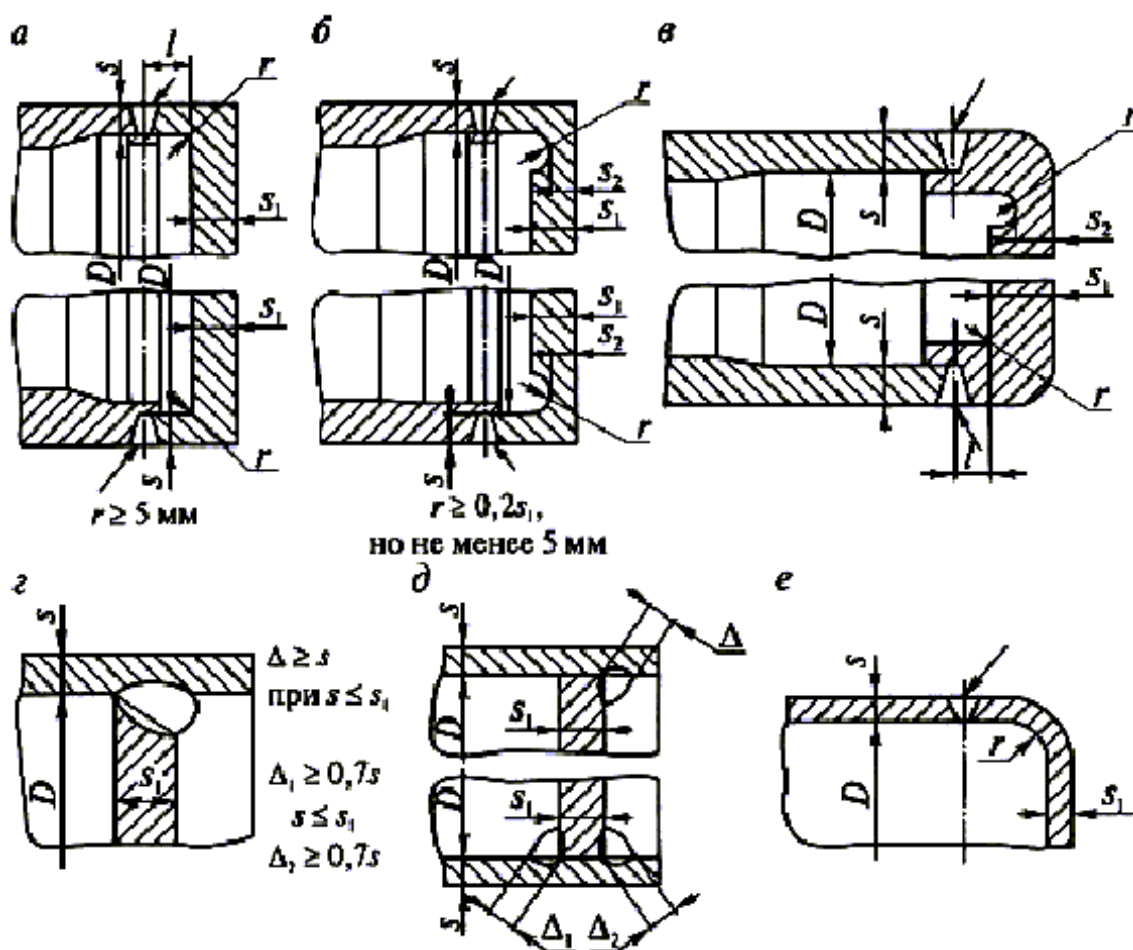


Рис. 3.4. Типы плоских днищ

Коэффициент  $K_I$  следует определять по формуле

$$K_1 = 0,5 + \sqrt{0,25 - \frac{s - c}{s_0} \frac{0,5 \sqrt{p[\sigma]}}{2[\sigma]_z - p}}$$

где  $[\sigma]_z$  - номинальное допускаемое напряжение для металла цилиндрической детали, МПа.

Допускается коэффициент  $K_I$  определять по номограмме (рис.3.5), если  $[\sigma]_z = [o]$ .

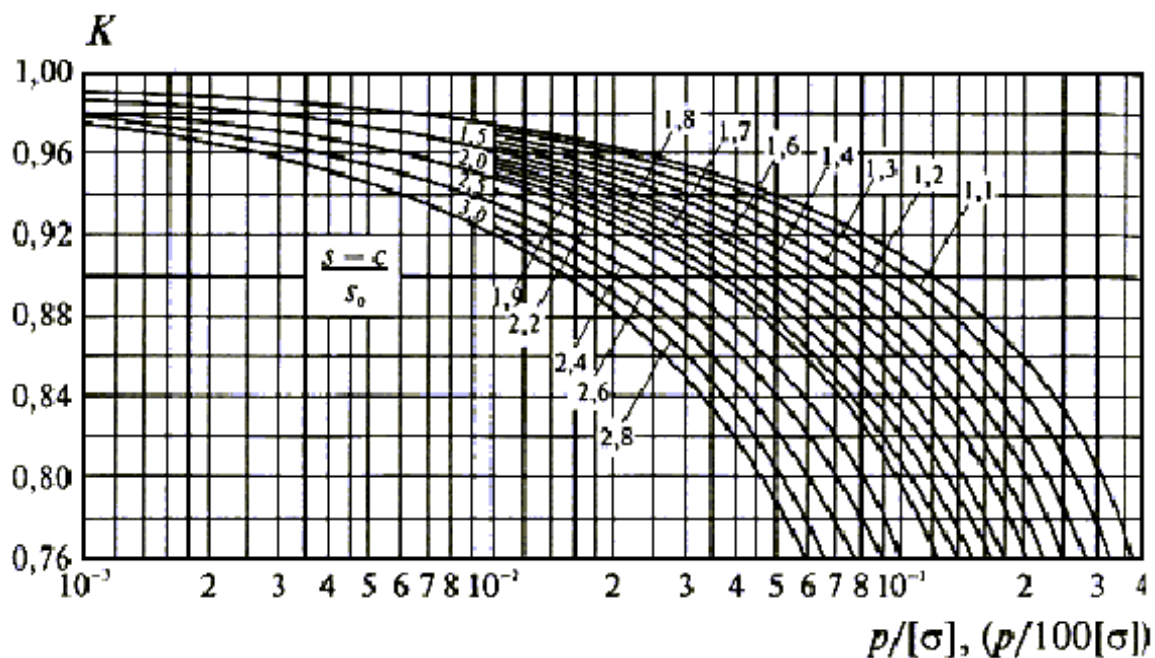


Рис. 3.5. Номограмма для определения коэффициента  $K1$  при расчете круглых плоских днищ

Значение коэффициента  $K1$  должно быть не менее 0,76.

При отрицательном значении подкоренного выражения следует принять  $K1 = 0,76$ .

Минимальная толщина стенки  $s_0$  должна определяться по формуле

$$s_0 = \frac{pD}{2[\sigma] - p}$$

Толщина стенки цилиндрической детали в месте присоединения плоского днища или цилиндрической части плоского днища должна быть не менее  $s_0$ .

Коэффициент  $K_0$  следует принимать равным следующим значениям:

для днища без отверстия  $K_0 = 1,0$ ;

для днищ с отверстием

$$K_0 = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{d}{D} + \left(\frac{d}{D}\right)^2}}$$

для днища с двумя и более отверстиями

$$K_0 = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\sum d_i}{D} + \left(\frac{\sum d_i}{D}\right)^2}}$$

Величина  $\sum d_i$  должна приниматься как максимальная сумма диаметров отверстий или их хорд в наиболее ослабленном диаметральном сечении днища (рис. 3.6):

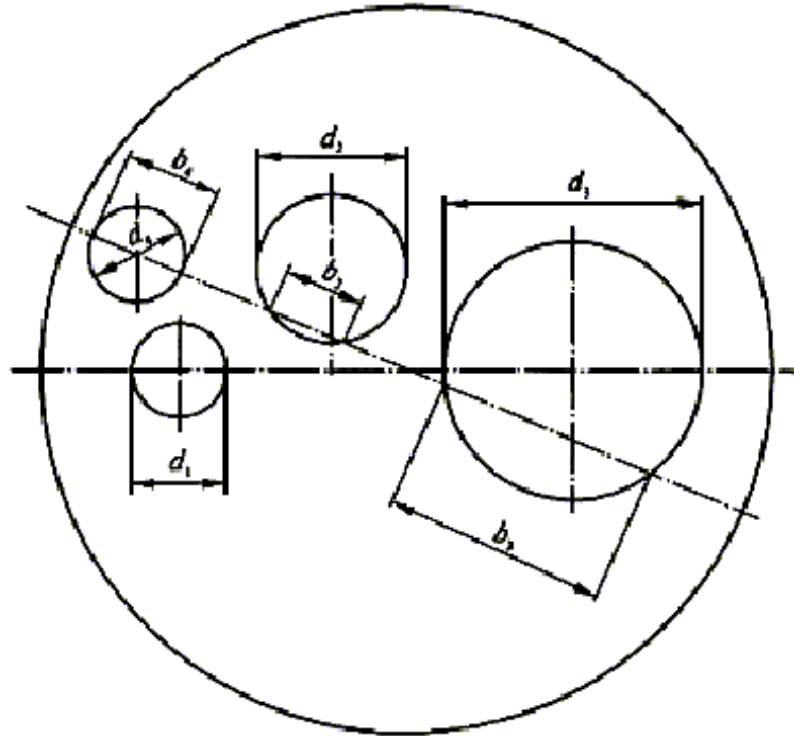


Рис. 3.6. Выбор максимальной суммы диаметров отверстий и их хорд в диаметральном сечении днища

Прибавка  $s$  должна приниматься согласно разделу 1.

3.6.1.2. Для днищ, сваренных из двух частей, коэффициент прочности сварного соединения  $\varphi_w$  следует определять согласно разделу 4.

3.6.1.3. Толщина плоского днища должна быть не менее толщин стенки цилиндрической части, определенной согласно п. 3.3.1.1.

3.6.1.4. Для днищ, конструкция которых изображена на рис. 3.4, б и в, толщина днища в месте кольцевой выточки должна удовлетворять условию

$$s_2 \geq \frac{p}{0,77[\sigma]} \left( \frac{D}{2} - r \right) + c.$$

Указания по выбору величины  $r$  приведены на рис.3.4,б.

### 3.6.2. Расчет толщины круглых плоских крышек

3.6.2.1. Номинальная толщина круглой крышки должна быть не менее определенной по формуле

$$s_1 = s_{1R} + c,$$

$$s_{1R} = K_m D_k \sqrt{\frac{p}{[\sigma]}}$$

где

Для крышек, конструкция которых соответствует рис. 3.7, расчетный диаметр  $D_k$  и коэффициент  $K_m$  следует принимать согласно табл. 3.4.

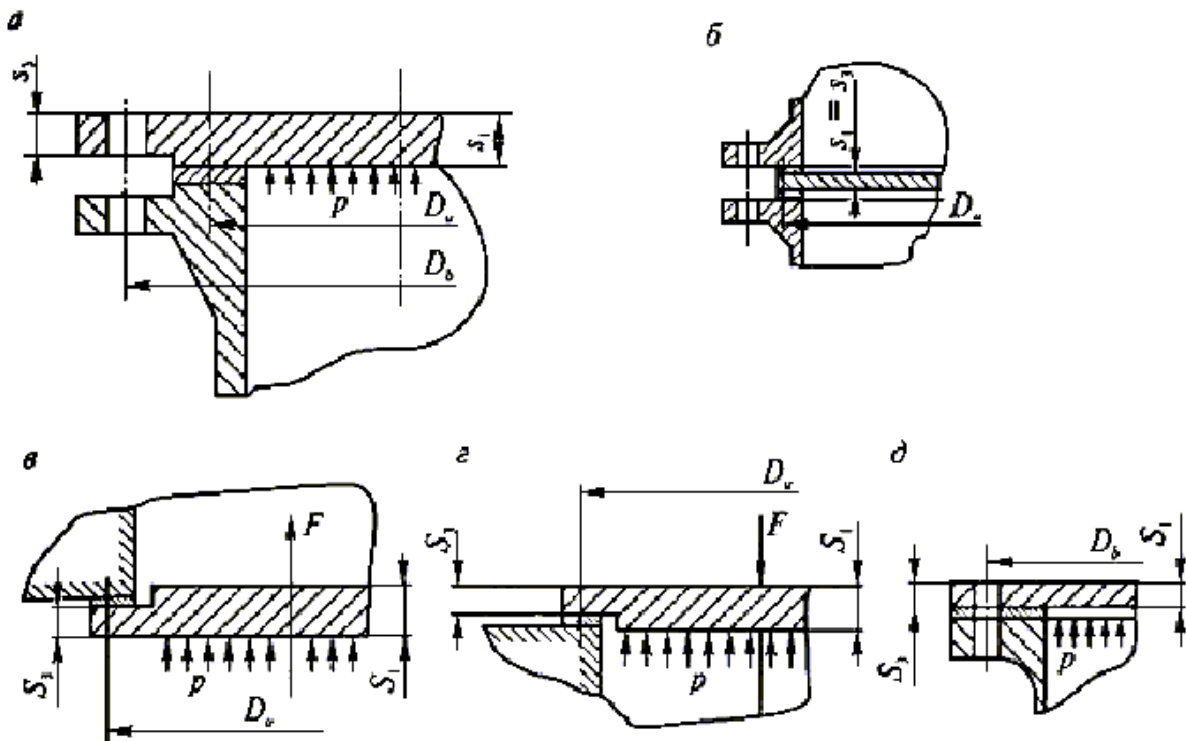


Рис. 3.7. Круглые плоские крышки (заглушки)

Прибавка  $c$  должна приниматься согласно разделу 1.

Таблица 3.4

Тип конструкции крышки по рис.3.7	$D_u$	$K_m$
3.7,а	$D_u$	$0,5D_b / D_u$
3.7,б	$D_u$	0,41
3.7,в	$D_u$	0,53
3.7,г	$D_u$	1,25
3.7,д	$D_b$	0,41

3.6.2.2. Толщина крышки по кольцевому участку действия усилия от болтов должна удовлетворять условию

$$s_3 \geq 0,7s_1.$$

3.6.2.3. Конструкция крышки, показанная на рис.3.7,г, при  $D_u > 500$  мм к применению не рекомендуется.

3.6.2.4. Для крышек, конструкция которых соответствует рис. 3.7, д, усилие затяга болтов не должно превышать двукратного усилия от внутреннего давления.

### 3.6.3. Расчет толщины овальных и прямоугольных крышек

3.6.3.1. Номинальная толщина овальной или прямоугольной крышки (рис. 3.8) должна быть не менее определенной по формуле

$$s_1 = s_{1R} + c,$$

$$s_{1R} = K_m Y_m \sqrt{\frac{P}{[\sigma]}}$$

где

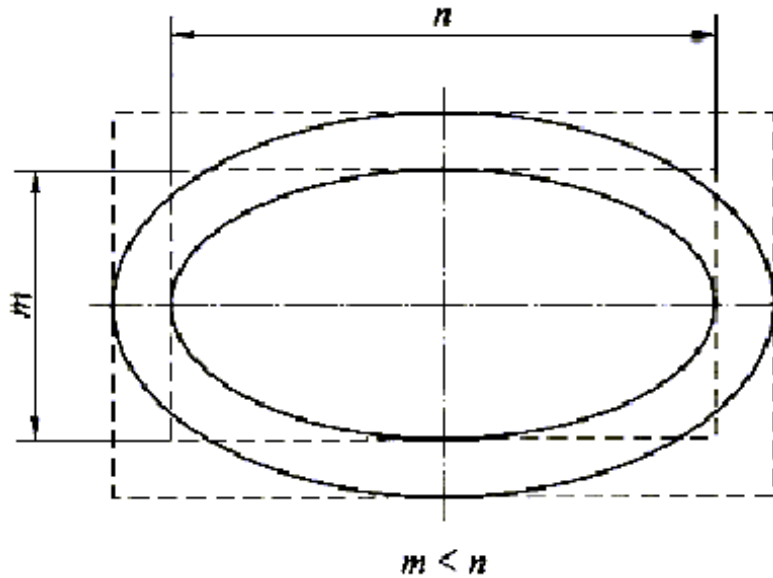


Рис. 3.8. Овальная (прямоугольная) плоская крышка

Коэффициент  $K_m$  следует принимать согласно п. 3.6.2.1.

Коэффициент  $Y$  следует определять по формуле

$$Y = \frac{1,41}{\sqrt{1 + \left(\frac{m}{n}\right)^2}}$$

Прибавка  $c$  должна приниматься согласно разделу 1.

3.6.3.2. Для овальных и прямоугольных крышек должны выполняться условия пп. 3.6.2.2-3.6.2.4, при этом в п. 3.6.2.3 вместо среднего диаметра прокладки  $D_u$  следует принимать  $n + b$ , где  $b$  - ширина прокладки.

### 3.6.4. Допустимое давление

3.6.4.1. Допустимое рабочее давление изготовленных днищ и крышек при контрольных расчетах следует определять по одной из следующих формул:

для круглых днищ

$$[p] = \left( \frac{K_0}{K} \frac{s_1 - c}{D} \right)^2 \varphi_w [\sigma];$$

для круглых крышек

$$[p] = \left( \frac{1}{K_m} \frac{s_1 - c}{D_k} \right)^2 [\sigma];$$

для овальных и прямоугольных крышек

$$[p] = \left( \frac{1}{K_m Y} \frac{s_1 - c}{m} \right)^2 [\sigma].$$

При выполнении контрольных расчетов по данным измерений толщины стенки вместо  $s_1 - c$  следует применять  $s_{1f} - c_2$

3.6.4.2. Величина пробного давления при гидравлическом испытании не должна превышать значения, полученного согласно п.3.6.4.1 при замене  $[o]$  на  $[o]h$ .

3.6.4.3. Величина принятого рабочего или пробного давления в расчетном элементе (например, коллекторе) не должна превышать наименьшего допустимого значения для плоских днищ, крышек и цилиндрической части расчетного элемента.

### 3.6.5. Расчетная температура стенки

3.6.5.1. Расчетная температура стенки плоского днища или крышки должна приниматься так же, как для выпуклых днищ, согласно п. 3.5.5.

### 3.6.6. Требования к конструкции

3.6.6.1. Радиусы закругления, глубина выточки, сечение сварных швов и другие величины для круглых плоских днищ должны удовлетворять требованиям, указанным на рис. 3.4.

3.6.6.2. Расстояние между кромками соседних отверстий в плоском днище должно быть не менее полусуммы диаметров этих отверстий; расстояние от кромки отверстия до внутренней поверхности цилиндрической части днища должно быть не менее  $2r$  для днищ конструкции по рис. 3.4,е,  $3r$  - для днищ конструкции по рис. 3.4, б и  $0,1D$  для остальных конструкций днищ.

3.6.6.3. Применение круглых плоских днищ из аустенитной стали допускается только при выполнении их по типу, изображенному на рис. 3.4, а и б, с соблюдением условия

$$l \geq \sqrt{D_m s}.$$

3.6.6.4. Разделка кромок штуцера под сварку должна обеспечить соединение его с плоским днищем по всей толщине штуцера. Приварка штуцера односторонним угловым швом без разделки кромок допускается только при толщине стенки штуцера не более 10 мм; минимальное сечение сварного шва приварки штуцера к днищу должно быть не менее

толщины стенки штуцера.

3.6.6.5. Толщину стенок днищ, к которым присоединяются трубы при помощи развальцовки, следует принимать не менее 13 мм.

3.6.6.6. Для днищ, конструкция которых соответствует рис. 3.4, е, радиус закругления должен приниматься в соответствии с табл. 3.5, но не менее  $r \geq s/3$ .

Таблица 3.5

$D$ , мм	$r$ , мм, не менее
До 500	30
От 500 до 1400	35
От 1400 до 1600	40
От 1600 до 1900	45
Свыше 1900	50