ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 52857.1— 2007

Сосуды и аппараты

НОРМЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ

Общие требования

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2009

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения национальных стандартов Российской Федерации — ГОСТ Р 1.0—2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения»

Сведения о стандарте

1 РАЗРАБОТАН Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский и конструкторский институт химического машиностроения» (ОАО НИИХИММАШ); Закрытым акционерным обществом «Петрохим Инжиниринг» (ЗАО Петрохим Инжиниринг); Открытым акционерным обществом «Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт нефтяного машиностроения» (ОАО ВНИИНЕФТЕМАШ); Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 260 «Оборудование химическое и нефтегазоперерабатывающее»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2007 г. № 503-ст

4 В настоящем стандарте учтены основные нормативные положения следующих международных и европейских стандартов: Директивы 97/23 ЕС Европейского Парламента и Совета от 29 мая 1997 г. по сближению законодательств государств-членов, касающейся оборудования, работающего под давлением; ЕН 13445-3:2002 «Сосуды, работающие под давлением. Часть 3. Расчет» (EN 13445-3:2002 «Unfired pressure vessel — Part 3: Design»)

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячно издаваемых информационных указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта 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 Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет

© Стандартинформ, 2009

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Обозначения 2
4 Общие положения 3
5 Расчетная температура 3
6 Рабочее, расчетное и пробное давление 4
7 Расчетные усилия и моменты 4
8 Допускаемые напряжения, коэффициенты запаса прочности 4
9 Коэффициенты запаса устойчивости 7
10 Модули продольной упругости и коэффициенты линейного расширения 7
11 Коэффициенты прочности сварных швов 7
12 Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов 7
Приложение А (обязательное) Допускаемое напряжение для рабочих условий 9
Приложение Б (справочное) Расчетные механические характеристики материалов 14
Приложение В (справочное) Расчетные значения модуля продольной упругости 21
Приложение Г (справочное) Коэффициенты линейного расширения 21
Приложение Д (обязательное) Коэффициенты прочности сварных и паяных швов 22

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Сосуды и аппараты

НОРМЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ

Общие требования

Vessels and apparatus.
Norms and methods of strength calculation.
General requirements

Дата введения — 2008—04—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает нормы и методы расчета на прочность сосудов и аппаратов из углеродистых и легированных сталей, цветных металлов (алюминия, меди, титана и их сплавов), применяемых в химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей и смежных отраслях промышленности, работающих в условиях однократных и многократных нагрузок под внутренним избыточным давлением, вакуумом или наружным давлением, под действием осевых и поперечных усилий и изгибающих моментов, инерционных нагрузок, а также устанавливает коэффициенты запаса прочности, допускаемых напряжений, модуля продольной упругости и коэффициентов прочности сварных швов. Нормы и методы расчета на прочность применимы, если свойства материалов, требования к конструкции, изготовлению и контролю отвечают требованиям ГОСТ Р 52630 и другим нормативным документам. Если отклонения от геометрической формы, неточности или качество изготовления отличаются от требований нормативных документов, то при расчете на прочность эти отступления должны быть учтены соответствующей корректировкой расчетных формул.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 51273—99 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Определение расчетных усилий для аппаратов колонного типа от ветровых нагрузок и сейсмических воздействий

ГОСТ Р 52630—2006 Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия

ГОСТ Р 52857.2—2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек

ГОСТ Р 52857.3—2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер

ГОСТ Р 52857.4—2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений

ГОСТ Р 52857.5—2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок

ГОСТ Р 52857.6—2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках

ГОСТ Р 52857.7—2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Теплообменные аппараты

ГОСТ Р 52857.8—2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Сосуды и аппараты с рубашками

Издание официальное

ГОСТ Р 52857.9—2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Определение напряжений в местах пересечений штуцеров с обечайками и днищами при воздействии давления и внешних нагрузок на штуцер

ГОСТ Р 52857.10—2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Сосуды и аппараты, работающие с сероводородными средами

ГОСТ Р 52857.11—2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Метод расчета на прочность обечаек и днищ с учетом смещения кромок сварных соединений, угловатости и некруглости обечаек

ГОСТ 19281—89 Прокат из стали повышенной прочности. Общие технические условия

ГОСТ 5949—75 Сталь сортовая и калиброванная коррозионно-стойкая, жаростойкая и жаропрочная. Технические требования

ГОСТ 25054—81 Поковки из коррозионно-стойких сталей и сплавов. Общие технические условия

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный стандарт заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться заменяющим (измененным) стандартом. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Обозначения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения:

c — сумма прибавок к расчетным толщинам, мм;

c_1 — прибавка для компенсации коррозии и эрозии, мм;

c_2 — прибавка для компенсации минусового допуска, мм;

c_3 — прибавка для компенсации утонения стенки при технологических операциях, мм;

E — модуль продольной упругости при расчетной температуре, МПа;

$n_в$ — коэффициент запаса прочности по временному сопротивлению (пределу прочности);

$n_т$ — коэффициент запаса по пределу текучести;

$n_д$ — коэффициент запаса по пределу длительной прочности;

$n_п$ — коэффициент запаса по пределу ползучести;

$n_у$ — коэффициент запаса устойчивости;

$n_{в\,n}$ — коэффициент запаса по пределу прочности для алюминия, меди и их сплавов;

$n_{вт}$ — коэффициент запаса по пределу прочности для титана и его сплавов;

p — расчетное давление, МПа;

$R_{e/t}$ — минимальное значение предела текучести при расчетной температуре, МПа;

$R_{e/20}$ — минимальное значение предела текучести при температуре 20 °С, МПа;

$R_{p0,2/t}$ — минимальное значение условного предела текучести при остаточном удлинении 0,2 % при расчетной температуре, МПа;

$R_{p0,2/20}$ — минимальное значение условного предела текучести при остаточном удлинении 0,2 % при температуре 20 °С, МПа;

$R_{p1,0/t}$ — минимальное значение предела текучести при остаточном удлинении 1,0 % для расчетной температуры, МПа;

$R_{p1,0/20}$ — минимальное значение предела текучести при остаточном удлинении 1,0 % для температуры 20 °С, МПа;

$R_{m/t}$ — минимальное значение временного сопротивления (предела прочности) при расчетной температуре, МПа;

$R_{m/20}$ — минимальное значение временного сопротивления (предела прочности) при температуре 20 °С, МПа;

$R_{m/10^n/t}$ — среднее значение предела длительной прочности за 10^n часов при расчетной температуре, МПа;

$R_{p1,0/10^n/t}$ — средний 1 %-ный предел ползучести за 10^n часов при расчетной температуре, МПа;

s — исполнительная толщина стенки элемента сосуда, мм;
s_p — расчетная толщина стенки элемента сосуда, мм;
t — расчетная температура стенки элемента сосуда, °С;
α — коэффициент линейного расширения при температуре, 10^6, $°C^{-1}$;
$[\sigma]$ — допускаемое напряжение при расчетной температуре, МПа;
$[\sigma]_{20}$ — допускаемое напряжение при температуре 20 °С, МПа;
φ — коэффициент прочности сварных швов.

4 Общие положения

4.1 Расчет на прочность необходимо проводить для всех прогнозируемых состояний сосудов, возникающих во время их эксплуатации, испытания, транспортировки, монтажа. При этом следует учитывать все нагрузки и внешние факторы (температуру, коррозионные среды и т.п.), которые могут оказать влияние на прочность, и учитывать вероятность их одновременного воздействия.

В частности, необходимо учитывать следующие факторы:

- внутреннее / внешнее давление;
- температуры окружающей среды и рабочие температуры;
- статическое давление в рабочих условиях и условиях испытания, нагрузки от массы сосуда и содержимого в оборудовании;
- инерционные нагрузки при движении, остановках и колебаниях, нагрузки от ветровых и сейсмических воздействий;
- реактивные усилия (противодействия), которые передаются от опор, креплений, трубопроводов и т. д.;
- нагрузки от стесненности температурных деформаций;
- усталость при переменных нагрузках, коррозию и эрозию и т. д.

За правильность применения норм и методов расчета на прочность несет ответственность организация (предприятие или физическое лицо), выполнявшая соответствующие расчеты на прочность.

4.2 Методы расчета на прочность сосудов и аппаратов приведены в ГОСТ Р 52857.2 — ГОСТ Р 52857.11.

4.3 В основу методов расчета на прочность большинства элементов сосудов принят метод расчета по предельным нагрузкам. Для удобства расчета коэффициенты запаса прочности к предельным нагрузкам учитываются при определении допускаемых напряжений. Для отдельных элементов (например, фланцевых соединений) или условий нагружения, например при переменных нагрузках, расчет ведется по допускаемым напряжениям.

Допускаемые напряжения в этом случае определяются с учетом особенностей эксплуатации сосуда, опытных данных, характеристик материала.

При расчете на устойчивость допускаемые нагрузки определяют по нижним критическим напряжениям.

5 Расчетная температура

5.1 Расчетную температуру используют для определения физико-механических характеристик материала и допускаемых напряжений, а также при расчете на прочность с учетом температурных воздействий.

5.2 Расчетную температуру определяют на основании теплотехнических расчетов или результатов испытаний, или опыта эксплуатации аналогичных сосудов.

За расчетную температуру стенки сосуда или аппарата принимают наибольшую температуру стенки. При температуре ниже 20 °С за расчетную температуру при определении допускаемых напряжений принимают температуру 20 °С.

5.3 Если невозможно провести тепловые расчеты или измерения и если во время эксплуатации температура стенки повышается до температуры среды, соприкасающейся со стенкой, то за расчетную температуру следует принимать наибольшую температуру среды, но не ниже 20 °С.

При обогреве открытым пламенем, отработанными газами или электронагревателями расчетную температуру принимают равной температуре среды, увеличенной на 20 °С при закрытом обогреве и на 50 °С при прямом обогреве, если нет более точных данных.

5.4 Если сосуд или аппарат эксплуатируются при нескольких различных режимах нагружения или разные элементы аппарата работают в разных условиях, для каждого режима можно определить свою расчетную температуру.

6 Рабочее, расчетное и пробное давление

6.1 Под рабочим давлением для сосуда и аппарата следует понимать максимальное внутреннее избыточное или наружное давление, возникающее при нормальном протекании рабочего процесса, без учета гидростатического давления среды и допустимого кратковременного повышения давления во время действия предохранительного клапана или других предохранительных устройств.

6.2 Под расчетным давлением для элементов сосудов и аппаратов следует понимать давление, на которое проводят их расчет на прочность.

Расчетное давление для элементов сосуда или аппарата принимают, как правило, равным рабочему давлению или выше.

Расчетное давление должно учитывать:

- внутреннее / внешнее давление;
- гидростатическое давление от среды, содержащейся в сосуде;
- нестабильность перерабатываемых сред и технологического процесса;
- инерционные нагрузки при движении или сейсмических воздействиях.

Если на сосуде или подводящем трубопроводе к сосуду установлено устройство, ограничивающее давление, чтобы рабочее давление не превышало максимально допустимого рабочего давления, то при определении расчетного давления не учитывают кратковременное превышение рабочего давления в пределах 10 %.

Для элементов, разделяющих пространства с разными давлениями (например, в аппаратах с обогревающими рубашками), за расчетное давление следует принимать либо каждое давление в отдельности, либо давление, которое требует большей толщины стенки рассчитываемого элемента. Если обеспечивается одновременное действие давлений, то допускается проводить расчет на разность давлений. Разность давлений принимается в качестве расчетного давления также для таких элементов, которые отделяют пространства с внутренним избыточным давлением от пространства с абсолютным давлением, меньшим чем атмосферное. Если отсутствуют точные данные о разности между абсолютным давлением и атмосферным, то абсолютное давление принимают равным нулю.

6.3 Под пробным давлением в сосуде или аппарате следует понимать давление, при котором проводится испытание сосуда или аппарата.

6.4 Под расчетным давлением в условиях испытаний для элементов сосудов или аппаратов следует принимать давление, которому они подвергаются во время пробного испытания, включая гидростатическое давление.

7 Расчетные усилия и моменты

За расчетные усилия и моменты принимают действующие для соответствующего состояния нагружения (например, при эксплуатации, испытании или монтаже) усилия и моменты, возникающие в результате действия собственной массы, инерционных нагрузок, от присоединенных трубопроводов, сейсмической, ветровой, снеговой и других нагрузок.

Расчетные усилия и моменты от ветровой нагрузки и сейсмических воздействий на колонные аппараты определяют по ГОСТ Р 51273.

8 Допускаемые напряжения, коэффициенты запаса прочности

8.1 Допускаемое напряжение [σ] при расчете по предельным нагрузкам сосудов, работающих при статических однократных нагрузках, вычисляют по формулам:

- для углеродистых, низколегированных, ферритных, аустенитно-ферритных, мартенситных сталей и сплавов на железоникелевой основе:

$$[\sigma] = \eta \min\left(\frac{R_{e/t}}{n_т} \text{ или } \frac{R_{p0,2/t}}{n_т}; \frac{R_{m/t}}{n_в}; \frac{R_{m/10^n/t}}{n_д}; \frac{R_{p1,0/10^n/t}}{n_п}\right); \quad (1)$$

- для аустенитной хромоникелевой стали, алюминия, меди и их сплавов:

$$[\sigma] = \eta \min \left(\frac{R_{p1,0/t}}{n_т}; \frac{R_{m/t}}{n_в}; \frac{R_{m/10^n/t}}{n_д}; \frac{R_{p1,0/10^n/t}}{n_п} \right). \quad (2)$$

Предел ползучести используют для определения допускаемого напряжения в тех случаях, когда отсутствуют данные по пределу длительной прочности или по условиям эксплуатации необходимо ограничивать деформацию (перемещения).

При отсутствии данных об условном пределе текучести при 1 %-ном остаточном удлинении используют значение условного предела текучести при 0,2 %-ном остаточном удлинении.

При отсутствии данных о пределе текучести и длительной прочности допускаемое напряжение для алюминия, меди и их сплавов вычисляют по формуле

$$[\sigma] = \frac{R_{m/t}}{n_{вл}}. \quad (3)$$

Допускаемые напряжения для титановых сплавов вычисляют по формуле

$$[\sigma] = \frac{R_{m/t}}{n_{вт}}. \quad (4)$$

Для условий испытания сосудов из углеродистых, низколегированных, ферритных, аустенитно-ферритных мартенситных сталей и сплавов на железоникелевой основе допускаемое напряжение вычисляют по формуле

$$[\sigma]_{20} = \eta \left(\frac{R_{e/20}}{n_т} \text{ или } \frac{R_{p0,2/20}}{n_т} \right). \quad (5)$$

Для условий испытаний сосудов из аустенитных сталей, алюминия, меди и их сплавов допускаемое напряжение вычисляют по формуле

$$[\sigma]_{20} = \eta \left(\frac{R_{p0,2/20}}{n_т} \text{ или } \frac{R_{p1,0/20}}{n_т} \right). \quad (6)$$

Если допускаемое напряжение для рабочих условий определяют по формуле (4), то для сосудов из алюминия, меди и их сплавов допускаемое напряжение для условий испытания вычисляют по формуле

$$[\sigma]_{20} = \frac{R_{m/20}}{n_{вл}}. \quad (7)$$

Для условий испытаний сосудов из титановых сплавов допускаемое напряжение вычисляют по формуле

$$[\sigma]_{20} = \frac{R_{m/20}}{n_{вт}}. \quad (8)$$

8.2 Коэффициенты запаса прочности должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 1.

Таблица 1

Условия нагружения	Коэффициенты запаса прочности							
	сталей, алюминия, меди и их сплавов [формулы (1), (2), (5), (6)]				алюминия, меди и их сплавов [формулы (3), (7)]	алюминиевых литейных сплавов [формулы (3), (7)]	титанового листового проката и прокатных труб [формулы (4), (8)]	титановых прутков и поковок [формулы (4),(8)]
	$n_т$	$n^*_в$	$n_д$	$n_п$	$n_{вл}$	$n_{вл}$	$n_{вт}$	$n_{вт}$
Рабочие условия	1,5	2,4	1,5	1,0	3,5	7,0	2,6	3,0
Условия испытания:								
гидравлические испытания	1,1	—	—	—	1,8	3,5	1,8	1,8
пневматические испытания	1,2	—	—	—	2,0	3,5	2,0	2,0
Условия монтажа	1,1	—	—	—	1,8	3,5	1,8	1,8
* Для аустенитной хромоникелевой стали, алюминия, меди и их сплавов (формула 2) $n_в = 3,0$.								

Если допускаемое напряжение для аустенитных сталей вычисляют по условному пределу текучести, коэффициент запаса прочности $n_т$ по условному пределу текучести $R_{p0,2/t}$ для рабочих условий допускается принимать равным 1,3.

8.3 Поправочный коэффициент η к допускаемым напряжениям должен быть равен единице, за исключением стальных отливок, для которых коэффициент η имеет следующие значения:

- 0,8 — для отливок, подвергающихся индивидуальному контролю неразрушающими методами:
- 0,7 — для остальных отливок.

8.4 Расчет на прочность цилиндрических обечаек и конических элементов, выпуклых и плоских днищ для условий испытания проводить не требуется, если расчетное давление в условиях испытания будет меньше, чем расчетное давление в рабочих условиях, умноженное на $1{,}35\,\frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}$.

8.5 Для материалов, широко используемых в химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленностях, допускаемые напряжения для рабочих условий при $\eta = 1$ приведены в приложении А.

8.6 Допускаемые напряжения для материалов, не приведенных в приложении А, определяют согласно 8.1. Расчетные механические характеристики, необходимые для определения допускаемых напряжений, определяют при нормальной температуре по соответствующим стандартам или техническим условиям, а при повышенных температурах после проведения испытаний представительного количества образцов, обеспечивающих гарантированные значения прочностных характеристик материала.

8.7 Для стальных элементов сосудов и аппаратов, работающих в условиях ползучести при разных за весь период эксплуатации расчетных температурах, в качестве допускаемого напряжения разрешается принимать эквивалентное допускаемое напряжение $[\sigma]_{экв}$, вычисляемое по формуле

$$[\sigma]_{экв} = \frac{[\sigma]_1}{\left[\sum_1^n \frac{T_i}{T_o}\left(\frac{[\sigma]_1}{[\sigma]_i}\right)^m\right]^{1/m}}, \qquad (9)$$

где $[\sigma]_i = [\sigma]_1, [\sigma]_2, \ldots, [\sigma]_n$ — допускаемое напряжение для расчетного срока эксплуатации при температурах t_i ($i = 1,2 \ldots$);

T_i — длительность этапов эксплуатации элементов с температурой стенки соответственно t_i ($i = 1,2 \ldots$), ч;

$T_o = \sum_1^n T_i$ — общий расчетный срок эксплуатации, ч;

m — показатель степени в уравнениях длительной прочности стали (для легированных жаропрочных сталей рекомендуется принимать $m = 8$).

Этапы эксплуатации при разной температуре стенки рекомендуется принимать по интервалам температуры в 5 °С и 10 °С.

Определение эквивалентных напряжений по приведенной упрощенной методике рекомендуется принимать по интервалам 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 более 0,1 от ресурса, но не менее 10^4 ч.

8.8 Допускаемое напряжение для сосудов из двухслойных сталей вычисляют по формуле

$$[\sigma] = \frac{[\sigma]_1(s_1 - c) + [\sigma]_2(s_2 - c)}{(s_1 - c) + (s_2 - c)}, \qquad (10)$$

где $[\sigma]_1$, $[\sigma]_2$ — допускаемые напряжения соответственно основного металла и коррозионно-стойкого слоя, определяемые по приложению А.

Учитывая допуск на толщину коррозионно-стойкого слоя при определении допускаемого напряжения по формуле (10), толщина коррозионно-стойкого слоя принимается минимальной, если $[\sigma]_1 < [\sigma]_2$. Если $[\sigma]_1 > [\sigma]_2$, то толщина коррозионно-стойкого слоя принимается максимальной.

Разрешается допускаемое напряжение определять по основному слою. В этом случае прибавка на коррозию принимается равной толщине коррозионно-стойкого слоя.

8.9 Для сосудов, работающих при многократных нагрузках, допускаемые напряжения определяются по ГОСТ Р 52857.5.

8.10 Для элементов сосудов, рассчитываемых не по предельным нагрузкам, а по допускаемым напряжениям, расчет проводят по условным упругим напряжениям.

σ_m — общие мембранные напряжения;

σ_{mL} — местные мембранные напряжения;

$\sigma_и$ — общие изгибные напряжения;

$\sigma_{иL}$ — местные изгибные напряжения;

σ_t — общие температурные напряжения;

σ_{tL} — местные температурные напряжения.

Условия статической прочности выполняются, если

$$\sigma_m \le [\sigma],$$

$$(\sigma_m \text{ или } \sigma_{mL}) + \sigma_и \le [\sigma]_м,$$

$$(\sigma_m \text{ или } \sigma_{mL}) + \sigma_и + \sigma_{иL} + \sigma_t + \sigma_{tL} \le [\sigma]_R, \qquad (11)$$

где $[\sigma]_м = 1{,}5[\sigma]$; $[\sigma]_R = 3[\sigma]$.

8.11 Расчетные механические характеристики материалов приведены в приложении Б.

9 Коэффициенты запаса устойчивости

Коэффициент запаса устойчивости n_y при расчете сосудов и аппаратов на устойчивость по нижним критическим напряжениям в пределах упругости следует принимать:

- 2,4 — для рабочих условий;
- 1,8 — для условий испытания и монтажа.

10 Модули продольной упругости и коэффициенты линейного расширения

10.1 Расчетные значения модулей продольной упругости приведены в приложении В.

10.2 Расчетные значения коэффициентов линейного расширения приведены в приложении Г.

11 Коэффициенты прочности сварных швов

При расчете на прочность сварных элементов сосудов допускаемые напряжения умножают на коэффициент прочности сварных швов φ.

Числовые значения этих коэффициентов приведены в приложении Д. Для бесшовных элементов сосудов $\varphi = 1$.

12 Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов

12.1 При расчете сосудов и аппаратов необходимо учитывать прибавки c к расчетным толщинам элементов сосудов и аппаратов.

Исполнительную толщину стенки элемента сосуда вычисляют по формуле

$$s \ge s_р + c, \qquad (12)$$

где $s_р$ — расчетная толщина стенки элемента сосуда.

Прибавку к расчетным толщинам вычисляют по формуле

$$c = c_1 + c_2 + c_3. \qquad (13)$$

Если в расчете рассматривается несколько элементов, отличающихся материалами, способом изготовления или толщинами, то сумма прибавок к расчетным толщинам стенок определяется для каждого элемента в отдельности.

При поверочном расчете прибавку вычитают из значений исполнительной толщины стенки.

Если известна фактическая толщина стенки, то при поверочном расчете можно не учитывать c_2 и c_3.

12.2 Обоснование всех прибавок к расчетным толщинам должно быть приведено в технической документации.

12.3 Прибавка к расчетной толщине для компенсации коррозии (эрозии) назначается с учетом условий эксплуатации, расчетного срока службы, скорости коррозии (эрозии).

При двухстороннем контакте с коррозионной и (или) эрозионной средой прибавка c_1 должна быть соответственно увеличена.

12.4 Технологическая прибавка c_3 предусматривает компенсацию утонения стенки элемента сосуда при технологических операциях: вытяжке, штамповке, гибке труб и т. д. В зависимости от принятой технологии эту прибавку следует учитывать при разработке рабочих чертежей.

Прибавки c_2 и c_3 учитывают в тех случаях, когда их суммарное значение превышает 5 % номинальной толщины листа.

Технологическая прибавка не включает в себя округление расчетной толщины до стандартной толщины листа.

При расчете эллиптических днищ, изготовляемых штамповкой, технологическую прибавку для компенсации утонения в зоне отбортовки не учитывают, если ее значение не превышает 15 % исполнительной толщины листа.

Приложение А
(обязательное)

Допускаемое напряжение для рабочих условий

Таблица А.1 — Допускаемые напряжения для углеродистых и низколегированных сталей

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Допускаемое напряжение [σ], МПа, для сталей марок							
	Ст3		09Г2С, 16ГС		20, 20К	10	10Г2, 09Г2	17ГС, 17Г1С, 10Г2С1
	толщина, мм							
	до 20	свыше 20	до 32	свыше 32	до 160			
20	154	140	196	183	147	130	180	183
100	149	134	177	160	142	125	160	160
150	145	131	171	154	139	122	154	154
200	142	126	165	148	136	118	148	148
250	131	120	162	145	132	112	145	145
300	115	108	151	134	119	100	134	134
350	105	98	140	123	106	88	123	123
375	93	93	133	116	98	82	108	116
400	85	85	122	105	92	77	92	105
410	81	81	104	104	86	75	86	104
420	75	75	92	92	80	72	80	92
430	71*	71*	86	86	75	68	75	86
440	—	—	78	78	67	60	67	78
450	—	—	71	71	61	53	61	71
460	—	—	64	64	55	47	55	64
470	—	—	56	56	49	42	49	56
480	—	—	53	53	46**	37	46**	53

* Для расчетной температуры стенки 425 °С.
** Для расчетной температуры стенки 475 °С.

Примечания

1 При расчетных температурах ниже 20 °С допускаемые напряжения принимают такими же, как при 20 °С, при условии допустимого применения материала при данной температуре.

2 Для промежуточных расчетных температур стенки допускаемое напряжение определяют линейной интерполяцией с округлением результатов до 0,5 МПа в сторону меньшего значения.

3 Для стали марки 20 при $R_{e/20} < 220$ МПа допускаемые напряжения, указанные в настоящей таблице, умножают на отношение $R_{e/20}/220$.

4 Для стали марки 10Г2 при $R_{p0,2/20} < 270$ МПа допускаемые напряжения, указанные в настоящей таблице, умножают на отношение $R_{p0,2/20}/270$.

5 Для стали марок 09Г2С, 16ГС классов прочности 265 и 296 по ГОСТ 19281 допускаемые напряжения независимо от толщины листа принимают равными указанным в графе, соответствующей толщине свыше 32 мм.

6 Допускаемые напряжения, расположенные ниже горизонтальной черты, действительны при ресурсе не более 10^5 ч.

Для расчетного срока эксплуатации до $2 \cdot 10^5$ ч допускаемое напряжение, расположенное ниже горизонтальной черты, умножают на коэффициент: для углеродистой стали на 0,8; для марганцовистой стали на 0,85 при температуре < 450 °С и на 0,8 при температуре от 450 °С до 500 °С включительно.

Таблица А.2 — Допускаемые напряжения для теплоустойчивых хромистых сталей

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Допускаемое напряжение [σ], МПа, для сталей марок				
	12ХМ	12МХ	15ХМ	15Х5М	15Х5М-У
20	147	147	155	146	240
100	146,5	146,5	153	141	235
150	146	146	152,5	138	230
200	145	145	152	134	225
250	145	145	152	127	220
300	141	141	147	120	210
350	137	137	142	114	200
375	135	135	140	110	180
400	132	132	137	105	170
410	130	130	136	103	160
420	129	129	135	101	150
430	127	127	134	99	140
440	126	126	132	96	135
450	124	124	131	94	130
460	122	122	127	91	126
470	117	117	122	89	122
480	114	114	117	86	118
490	105	105	107	83	114
500	96	96	99	79	108
510	82	82	84	72	97
520	69	69	74	66	85
530	60	57	67	60	72
540	50	47	57	54	58
550	41	—	49	47	52
560	33	—	41	40	45
570	—	—	—	35	40
580	—	—	—	30	34
590	—	—	—	28	30
600	—	—	—	25	25

Примечания

1 При расчетных температурах ниже 20 °С допускаемые напряжения принимают такими же, как при 20 °С при условии допустимого применения материала при данной температуре.

2 Для промежуточных расчетных температур стенки допускаемое напряжение определяют линейной интерполяцией с округлением результатов до 0,5 МПа в сторону меньшего значения.

3 Допускаемые напряжения, расположенные ниже горизонтальной черты, действительны при ресурсе 10^5 ч.

Для расчетного срока эксплуатации до $2 \cdot 10^5$ ч допускаемое напряжение, расположенное ниже горизонтальной черты, умножают на коэффициент 0,85.

Таблица А.3 — Допускаемые напряжения для жаропрочных, жаростойких и коррозионно-стойких сталей аустенитного класса

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Допускаемое напряжение [σ], МПа, для сталей марок					
	03Х21Н21М4ГБ	03Х18Н11	03Х17Н14М3	08Х18Н10Т, 08Х18Н12Т, 08Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т	12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т	10Х14Г14Н4Т
20	180	160	153	168	184	167
100	173	133	140	156	174	153
150	171	125	130	148	168	146
200	171	120	120	140	160	137
250	167	115	113	132	154	130
300	149	112	103	123	148	123
350	143	108	101	113	144	118
375	141	107	90	108	140	115
400	140	107	87	103	137	113
410	—	107	83	102	136	112
420	—	107	82	101	135	111
430	—	107	81	100,5	134	110
440	—	107	81	100	133	109
450	—	107	80	99	132	108
460	—	—	—	98	131	—
470	—	—	—	97,5	130	—
480	—	—	—	97	129	—
490	—	—	—	96	128	—
500	—	—	—	95	127	—
510	—	—	—	94	126	—
520	—	—	—	79	125	—
530	—	—	—	79	124	—
540	—	—	—	78	111	—
550	—	—	—	76	111	—
560	—	—	—	73	101	—
570	—	—	—	69	97	—
580	—	—	—	65	90	—
590	—	—	—	61	81	—
600	—	—	—	57	74	—
610	—	—	—	—	68	—
620	—	—	—	—	62	—
630	—	—	—	—	57	—
640	—	—	—	—	52	—
650	—	—	—	—	48	—
660	—	—	—	—	45	—
670	—	—	—	—	42	—
680	—	—	—	—	38	—
690	—	—	—	—	34	—
700	—	—	—	—	30	—

Примечания

1 При расчетных температурах ниже 20 °С допускаемые напряжения принимают такими же, как и при 20 °С, при условии допустимого применения материала при данной температуре.

2 Для промежуточных расчетных температур стенки допускаемое напряжение определяют интерполяцией двух ближайших значений, указанных в таблице, с округлением результатов до 0,5 МПа в сторону меньшего значения.

Окончание таблицы А.3

3 Для поковок из стали марок 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т допускаемые напряжения, приведенные в настоящей таблице, при температурах до 550 °С умножают на 0,83.

4 Для сортового проката из стали марок 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т допускаемые напряжения, приведенные в настоящей таблице, при температурах до 550 °С умножают на отношение $\frac{R^{*}_{p0,2/20}}{240}$ ($R^{*}_{p0,2/20}$ — предел текучести материала сортового проката определен по ГОСТ 5949).

5 Для поковок и сортового проката из стали марки 08Х18Н10Т допускаемые напряжения, приведенные в таблице 4, при температурах до 550 °С умножают на 0,95.

6 Для поковок из стали марки 03Х17Н14М3 допускаемые напряжения, приведенные в настоящей таблице, умножают на 0,9.

7 Для поковок из стали марки 03Х18Н11 допускаемые напряжения, приведенные в настоящей таблице, умножают на 0,9; для сортового проката из стали марки 03Х18Н11 допускаемые напряжения умножают на 0,8.

8 Для труб из стали марки 03Х21Н21М4ГБ (ЗИ-35) допускаемые напряжения, приведенные в настоящей таблице, умножают на 0,88.

9 Для поковок из стали марки 03Х21Н21М4ГБ (ЗИ-35) допускаемые напряжения, приведенные в настоящей таблице, умножают на отношение $\frac{R^{*}_{p0,2/20}}{250}$ ($R^{*}_{p0,2/20}$ — предел текучести материала поковок, определен по ГОСТ 25054).

10 Допускаемые напряжения, расположенные ниже горизонтальной черты, действительны при ресурсе не более 10^5 ч.

Для расчетного срока эксплуатации до $2 \cdot 10^5$ ч допускаемое напряжение, расположенное ниже горизонтальной черты, умножают на коэффициент 0,9 при температуре < 600 °С и на коэффициент 0,8 при температуре от 600 °С до 700 °С включительно.

Таблица А.4 — Допускаемые напряжения для жаропрочных, жаростойких и коррозионно-стойких сталей аустенитного и аустенитно-ферритного класса

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Допускаемое напряжение [σ], МПа, для сталей марок					
	08Х18Г8Н2Т (КО-3)	07Х13АГ20 (ЧС-46)	02Х8Н22С6 (ЭП-794)	15Х18Н12С4ТЮ (ЭИ-654)	06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ	08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т
20	230	233	133	233	147	233
100	206	173	106,5	220	138	200
150	190	153	100	206,5	130	193
200	175	133	90	200	124	188,5
250	160	127	83	186,5	117	166,5
300	144	120	76,5	180	110	160
350	—	113	—	—	107	—
375	—	110	—	—	105	—
400	—	107	—	—	103	—

Примечания

1 При расчетных температурах ниже 20 °С допускаемые напряжения принимают такими же, как и при 20 °С, при условии допустимого применения материала при данной температуре.

2 Для промежуточных расчетных температур стенки допускаемое напряжение определяют интерполяцией двух ближайших значений, указанных в настоящей таблице, с округлением до 0,5 МПа в сторону меньшего значения.

Таблица А.5 — Допускаемые напряжения для алюминия и его сплавов

Расчетная температура, °С	Допускаемое напряжение [σ], МПа, для алюминия и его сплавов марок				
	А85М, А8М	АДМ, АД0М, АД1М	АМцСМ	АМг2М, АМг3М	АМг5М, АМг6М
20	16,0	20,0	33,0	47,0	73,0
50	15,0	19,0	31,0	47,0	68,6
100	14,0	17,0	28,0	45,0	61,0
120	13,0	14,0	25,0	44,0	58,0
130	12,0	13,0	24,0	40,0	52,0
140	11,0	12,0	19,0	34,0	46,0
150	11,0	11,0	16,0	31,0	40,0

Примечания

1 Допускаемые напряжения приведены для алюминия и его сплавов в отожженном состоянии.

2 Допускаемые напряжения приведены для толщин листов и плит алюминия марок А85М, А8М не более 30 мм, остальных марок — не более 60 мм.

3 Для промежуточных значений расчетных температур стенки допускаемые напряжения определяют линейной интерполяцией с округлением результатов до 0,1 МПа в сторону меньшего значения.

Таблица А.6 — Допускаемые напряжения для меди и ее сплавов

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Допускаемое напряжение [σ], МПа, для меди и ее сплавов марок					
	М2	М3	М3р	Л63, ЛС59-1	ЛО62-1	ЛЖМц 59-1-1
20	51,0	54,0	54,0	70,0	108,0	136,0
50	49,0	50,0	51,0	67,0	106,0	134,0
100	48,0	45,0	46,6	63,0	100,0	124,0
150	43,0	42,0	42,0	60,0	95,0	120,0
200	38,0	39,0	38,0	57,0	90,0	106,0
210	—	38,0	37,0	55,0	80,0	97,0
220	—	37,0	36,0	52,0	70,0	85,0
230	—	36,0	35,0	42,0	60,0	69,0
240	—	34,0	34,0	34,0	50,0	51,0
250	—	33,0	33,0	33,0	40,0	30,0

Примечания

1 Допускаемые напряжения приведены для меди и ее сплавов в отожженном состоянии.

2 Допускаемые напряжения приведены для толщин листов от 3 до 10 мм.

3 Для промежуточных значений расчетных температур стенки допускаемые напряжения определяют линейной интерполяцией с округлением результатов до 0,1 МПа в сторону меньшего значения.

Таблица А.7 — Допускаемое напряжение для титана и его сплавов

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Допускаемое напряжение [σ], МПа, для титанового листового проката и прокатных труб			
	ВТ1-0	ОТ4-0	АТ3	ВТ1-00
20	143	181	226	113
100	126	156	199	96
200	106	129	169	75
250	94	118	162	64
300	85	96	156	55
350	—	94	143	—
400	—	92	—	—

Примечания

1 При расчетных температурах ниже 20 °С допускаемые напряжения принимают такими же, как при 20 °С, при условии допустимости применения материала при данной температуре.

2 Для поковок и прутков допускаемые напряжения, указанные в настоящей таблице, умножаются на 0,8.

Приложение Б
(справочное)

Расчетные механические характеристики материалов

Таблица Б.1 — Расчетное значение предела текучести R_e/t для углеродистых и низколегированных сталей

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Расчетное значение предела текучести R_e, МПа, для сталей марок							
	Ст3		09Г2С, 16ГС		20 и 20К	10	10Г2, 09Г2	17ГС, 17Г1С, 10Г2С1
	толщина, мм							
	до 20	свыше 20	до 32	свыше 32	до 160			
20	250	210	300	280	220	195	270	280
100	230	201	265,5	240	213	188	240	240
150	224	197	256,5	231	209	183	231	231
200	223	189	247,5	222	204	177	222	222
250	197	180	243	218	198	168	218	218
300	173	162	226,5	201	179	150	201	201
350	167	147	210	185	159	132	185	185
375	164	140	199,5	174	147	123	162	174
400	—	—	183	158	—	—	—	158
410	—	—	—	156	—	—	—	156
420	—	—	—	138	—	—	—	138

Таблица Б.2 — Расчетное значение временного сопротивления $R_{m/t}$ для углеродистых и низколегированных сталей

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Расчетное значение временного сопротивления R_m, МПа, для сталей марок						
	Ст3		09Г2С, 16ГС		20 и 20К	10	10Г2, 09Г2, 17ГС, 17Г1С, 10Г2С1
	толщина, мм						
	до 20	свыше 20	до 32	свыше 32	до 160		
20	460	380	470	440	410	340	440
100	435	360	425	385	380	310	385
150	460	390	430	430	425	340	430
200	505	420	439	439	460	382	439
250	510	435	444	444	460	400	444
300	520	440	445	445	460	374	445
350	480	420	441	441	430	360	441
375	450	402	425	425	410	330	425

Таблица Б.3 — Расчетное значение предела текучести $R_{p0,2/t}$ для теплоустойчивых и хромистых сталей

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Расчетное значение предела текучести $R_{p0,2}$, МПа, для сталей марок				
	12МХ	12ХМ	15ХМ	15Х5М	15Х5М-У
20	220	220	233	220	400
100	219	219	230	210	352,5
150	218	218	229	207	345
200	217,5	217,5	228	201	337,5
250	217,5	217,5	228	190	330
300	212	212	220	180	315
350	206	206	213	171	300
375	202	202	210	164	270
400	198	198	205	158	255
410	195	195	204	155	240
420	194	194	202	152	225

Таблица Б.4 – Расчетное значение временного сопротивления $R_{m/t}$ для теплоустойчивых и хромистых сталей

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Расчетное значение временного сопротивления R_m, МПа, для сталей марок				
	12МХ	12ХМ	15ХМ	15Х5М	15Х5М-У
20	450	450	450	400	600
100	440	440	440	380	572
150	434	434	434	355	555
200	430	430	430	330	535
250	440	437	437	320	520
300	454	445	445	318	503
350	437	442	442	314	492
375	427	436	436	312	484
400	415	426	426	310	472
410	413	424	424	306	468
420	410	421	421	300	462

Таблица Б.5 — Расчетное значение предела текучести $R_{p0,2/t}$ для аустенитного и аустенитно-ферритного класса сталей

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Расчетное значение предела текучести $R_{p0,2}$, МПа, для сталей марок					
	08Х18Г8Н2Т (КО-3)	07Х13АГ20 (ЧС-46)	02Х8Н22С6 (ЭП-794)	15Х18Н12С4ТЮ (ЭИ-654)	08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т	06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ
20	350	350	200	350	350	220
100	328	260	160	330	300	207
150	314	230	150	310	290	195
200	300	200	135	300	283	186
250	287	190	125	280	250	175
300	274	180	115	270	240	165
350	—	170	—	—	—	160
375	—	165	—	—	—	157,5
400	—	160	—	—	—	155

Таблица Б.6 — Расчетное значение временного сопротивления $R_{m/t}$ для аустенитного и аустенитно-ферритного класса сталей

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Расчетное значение временного сопротивления R_m, МПа, для сталей марок				
	08Х18Г8Н2Т	07Х13АГ20	02Х8Н22С6	15Х18Н12С4ТЮ	06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ
20	600	670	550	700	550
100	535	550	500	640	527,5
150	495	520	480	610	512,5
200	455	490	468	580	500
250	415	485	450	570	490
300	375	480	440	570	482,5
350	—	465	—	—	478
375	—	458	—	—	474
400	—	450	—	—	470

Таблица Б.7 — Расчетное значение предела текучести $R_{p1,0/t}$ для жаропрочных, жаростойких и коррозионно-стойких сталей аустенитного класса

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Расчетное значение предела текучести $R_{p1,0}$, МПа, для сталей марок				
	12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т	08Х18Н10Т, 08Х18Н12Т, 08Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т	03Х21Н21М4ГБ	03Х18Н11	03Х17Н14М3
20	276	252	270	240	230
100	261	234	260	200	210
150	252	222	257	187,5	195
200	240	210	257	180	180
250	231	198	250	173	170
300	222	184,5	223	168	155
350	216	169,5	215	162	152
375	210	162	212	160	135
400	205,5	154,5	210	160	130
410	204	153	—	160	125
420	202,5	151,5	—	160	123
430	201	150,75	—	160	122
440	199,5	150	—	160	121
450	198	148,5	—	160	120
460	196,5	147	—	—	—
470	195	146	—	—	—
480	193,5	145,5	—	—	—
490	192	144	—	—	—
500	190,5	142,5	—	—	—
510	189	141	—	—	—
520	187,5	139,5	—	—	—
530	186	138	—	—	—

Примечание — Предел текучести для поковок, сортового проката и труб при 20 °С следует принимать:

- для поковок из стали марок 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т:

$$\frac{R_{p1,0}\ (\text{листа})}{1,2};$$

- для поковок и сортового проката из стали марки 08Х18Н10Т:

$$\frac{R_{p1,0}\ (\text{листа})}{1,05};$$

- для сортового проката из стали марок 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т:

$$1,15R_{p0,2}\ (\text{сорта});$$

- для поковок из стали марок 03Х17Н14М3, 03Х18Н11:

$$\frac{R_{p1,0}\ (\text{листа})}{1,11};$$

- для сортового проката из стали марки 03Х18Н11:

$$\frac{R_{p1,0}\ (\text{листа})}{1,25};$$

- для труб из стали марки 03Х21Н21М4ГБ (ЗИ-35):

$$\frac{R_{p1,0}\ (\text{листа})}{1,14};$$

- для поковок из стали марки 03Х21Н21М42Б (ЗИ-35):

$$1,08R_{p0,2}\ (\text{поковки}),$$

[$R_{p0,2/20}$ — предел текучести материала поковок определен по ГОСТ 25054 (по согласованию)].

Таблица Б.8 — Расчетное значение предела текучести $R_{p0,2/t}$ для жаропрочных, жаростойких и коррозионностойких сталей аустенитного класса

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Расчетное значение предела текучести $R_{p0,2}$, МПа, для сталей марок					
	12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т	08Х18Н10Т, 08Х18Н12Т, 08Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т	03Х21Н21М4ГБ	03Х18Н11	03Х17Н14М3	10Х14Г14Н4Т
20	240	210*	250	200	200	250
100	228	195	240	160	180	230
150	219	180	235	150	165	219
200	210	173	235	140	150	206
250	204	165	232	135	140	195
300	195	150	205	130	126	185
350	190	137	199	127	115	177
375	186	133	195	125	108	173
400	181	129	191	122,5	100	170
410	180	128	—	121,5	98	168,4
420	180	128	—	121	97,5	166,8
430	179	127	—	120,5	97	165,2
440	177	126	—	120	96	163,6
450	176	125	—	120	95	162,0
460	174	125	—	—	—	—
470	173	124	—	—	—	—
480	173	123	—	—	—	—
490	171	122	—	—	—	—
500	170	122	—	—	—	—
510	168	120	—	—	—	—
520	168	119	—	—	—	—
530	167	119	—	—	—	—

* Для сталей 08Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т предел текучести при 20 °С равен 200 МПа.

Примечания

1 Для поковок из стали марок 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т пределы текучести, приведенные в настоящей таблице, умножают на 0,83.

2 Для сортового проката из стали марок 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т пределы текучести, приведенные в настоящей таблице, умножают на $\frac{R^{*}_{p0,2/20}}{240}$ ($R^{*}_{p0,2/20}$ — предел текучести материала сортового проката определен по ГОСТ 5949.)

3 Для поковок и сортового проката из стали марки 08Х18Н10Т пределы текучести, приведенные в таблице 16, умножают на 0,95.

4 Для поковок из стали марки 03Х17Н14М3 пределы текучести, приведенные в таблице Б.8, умножают на 0,9.

5 Для поковок из стали марки 03Х18Н11 пределы текучести, приведенные в таблице Б.8, умножают на 0,9; для сортового проката из стали марки 03Х18Н11 пределы текучести умножают на 0,8.

6 Для труб из стали марки 03Х21Н21М4ГБ (ЗИ-35) пределы текучести, приведенные в таблице Б.8, умножают на 0,88.

7 Для поковок из стали марки 03Х21Н21М4ГБ (ЗИ-35) пределы текучести, приведенные в таблице 16, умножают на отношение $\frac{R^{*}_{p0,2/20}}{250}$ [$R^{*}_{p0,2/20}$ — предел текучести материала поковок определен по ГОСТ 25054 (по согласованию)].

Таблица Б.9 — Расчетное значение временного сопротивления $R_{m/t}$ для жаропрочных, жаростойких и коррозионно-стойких сталей аустенитного класса

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Расчетное значение временного сопротивления R_m, МПа, для сталей марок						
	03Х21Н21М4ГБ	08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т	03Х17Н14М3	03Х18Н11	08Х18Н10Т, 08Х18Н12Т, 08Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т	12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т	10Х14Г14Н4Т
20	550	600	500	520	520	540	600
100	540	583	474	450	480	500	535
150	535	550	453	433	455	475	498
200	535	515	432	415	430	450	458
250	534	503	412	405	424	443	432
300	520	500	392	397	417	440	424
350	518	—	376	394	408	438	415
375	517	—	368	392	405	437	410
400	516	—	360	390	402	436	405
410	—	—	358	388	400	434	401
420	—	—	356	386	398	432	397
430	—	—	354	384	396	431	393
440	—	—	352	382	394	430	389
450	—	—	350	380	392	428	385
460	—	—	—	—	390	426	—
470	—	—	—	—	388	424	—
480	—	—	—	—	386	422	—
490	—	—	—	—	385	421	—
500	—	—	—	—	383	420	—
510	—	—	—	—	381	418	—
520	—	—	—	—	380	416	—
530	—	—	—	—	374*	412*	—

* Для расчетной температуры стенки 550 °С.

Таблица Б.10 — Расчетное значение предела текучести $R_{p0,2/t}$ для алюминия и его сплавов в отожженном состоянии

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Расчетное значение предела текучести $R_{p0,2}$, МПа, для алюминия и его сплавов				
	А85М*, А8М*	АД0М, АД1М, АДМ	АМц, АМцС	АМг2М, АМг3М	АМг5М, АМг6М
20	24,0	30,0	50,0	70,0	110,0
50	23,0	29,0	47,0	70,0	103,0
100	21,0	27,0	43,0	70,0	92,0
150	20,0	25,0	40,0	57,0	87,0

* Для толщин более 30 мм, для остальных материалов — не более 60 мм.

Примечание — Механические свойства труб из алюминия А85М, листов и плит из алюминия марок А85М, А8М толщиной свыше 30 мм и остальных марок свыше 60 мм должны соответствовать нормативным документам.

Таблица Б.11 — Расчетное значение временного сопротивления $R_{m/t}$ для алюминия и его сплавов в отожженном состоянии

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Расчетное значение временного сопротивления R_m, МПа, для алюминия и его сплавов				
	А85М*, А8М*	АД0М, АД1М, АДМ	АМц, АМцС	АМг2М, АМг3М	АМг5М, АМг6М
20	60,0	60,0	120,0	170,0	260,0
50	55,0	56,0	115,0	170,0	257,0
100	47,0	50,0	105,0	170,0	252,0
150	39,0	39,0	85,0	154,0	210,0

* Для толщин не более 30 мм, для остальных материалов — не более 60 мм.

Примечания

1 Механические свойства труб из алюминия А85М, листов и плит из алюминия марок А85М, А8М толщиной свыше 30 мм и остальных марок — свыше 60 мм должны соответствовать нормативным документам.

2 Значение $R_{p0,2}$ и R_m для алюминия и его сплавов в отожженном состоянии.

Таблица Б.12 — Расчетное значение предела текучести $R_{p1,0/t}$ для меди и ее сплавов

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Расчетное значение предела текучести $R_{p1,0}$, МПа, для меди и ее сплавов*					
	М2	М3	М3р	Л63, ЛС59-1	ЛО62-1	ЛЖМц59-1-1
20	77,0	81,0	81,0	105,0	163,0	204,0
50	74,0	75,0	77,0	101,0	159,0	201,0
100	72,0	68,0	70,0	95,0	151,0	186,0
150	64,0	63,0	63,0	90,0	143,0	180,0
200	57,0	58,0	57,0	87,0	136,0	159,0
250	52,0	52,0	52,0	83,0	129,0	140,0

* Значение $R_{p1,0}$ для меди и ее сплавов приведены для толщин от 3 до 10 мм в отожженном состоянии.

Таблица Б.13 — Расчетное значение временного сопротивления $R_{m/t}$ для меди и ее сплавов

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Расчетное значение временного сопротивления R_m, МПа, для меди и ее сплавов*					
	М2	М3	М3р	Л63, ЛС59-1	ЛО62-1	ЛЖМц59-1-1
20	217,0	218,0	219,0	340,0	409,0	503,0
50	208,0	209,0	209,0	337,0	399,0	481,0
100	192,0	194,0	195,0	326,0	384,0	445,0
150	178,0	180,0	181,0	316,0	369,0	419,0
200	165,0	167,0	167,0	307,0	355,0	370,0
250	153,0	155,0	157,0	272,0	342,0	355,0

* Значение R_m для меди и ее сплавов приведены для толщин от 3 до 10 мм в отожженном состоянии.

Таблица Б.14 — Расчетное значение предела текучести $R_{p0,2/t}$ для титана и его сплавов

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Расчетные значения предела текучести $R_{p0,2}$, МПа, для титана и его сплавов			
	ВТ1-0	ОТ4-0	АТ3	ВТ1-00
20	304	392	530	245
100	255	324	466	196
200	206	235	394	147
250	189	196	380	123
300	172	177	367	113
350	—	157	334	—
400	—	147	—	—

Таблица Б.15 — Расчетное значение временного сопротивления $R_{m/t}$ для титана и его сплавов

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Расчетные значения временного сопротивления R_m, МПа, для титана и его сплавов			
	ВТ1-0	ОТ4-0	АТ3	ВТ1-00
20	373	471	589	294
100	229	407	518	250
200	275	327	439	196
250	245	294	422	167
300	221	250	407	142
350	—	245	372	—
400	—	240	—	—

Приложение В
(справочное)

Расчетные значения модуля продольной упругости

Таблица В.1

Сталь	Модуль продольной упругости 10^{-5} E, МПа, при температуре, °С													
	20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
Углеродистые и низколегированные стали	1,99	1,91	1,86	1,81	1,76	1,71	1,64	1,55	1,40	—	—	—	—	—
Теплоустойчивые и коррозионно-стойкие хромистые стали	2,15	2,15	2,05	1,98	1,95	1,90	1,84	1,78	1,71	1,63	1,54	1,40	—	—
Жаропрочные и жаростойкие аустенитные стали	2,00	2,00	1,99	1,97	1,94	1,90	1,85	1,80	1,74	1,67	1,60	1,52	1,43	1,32
Алюминий и его сплавы	0,72	0,69	0,67	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Медь	1,24	1,21	1,19	1,17	1,15	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Сплавы на основе меди	1,05	1,02	1,00	0,98	0,97	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Титан	1,15	1,10	1,06	1,01	0,95	0,88	—	—	—	—	—	—	—	—
Сплавы титана	1,10	1,06	1,02	0,96	0,90	0,83	0,76	0,70	—	—	—	—	—	—

Приложение Г
(справочное)

Коэффициенты линейного расширения

Таблица Г.1

Марка материала	Расчетное значение коэффициента линейного расширения 10^6 $\alpha°$ C^{-1} при температуре, °С				
	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500
Ст3, 10, 20, 20К, 09Г2С, 16ГС, 17ГС, 17Г1С, 10Г2С1, 10Г2, 09Г2	11,6	12,6	13,1	13,6	14,1
12ХМ, 12МХ, 15ХМ, 15Х5М, 15Х5М-У	11,9	12,6	13,2	13,7	14,0
08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т	9,6	13,8	16,0	16,0	16,5
12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т, 03Х17Н14М3, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т, 08Х18Н10Т, 08Х18Н12Т, 03Х18Н11, 08Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т,10Х14Г14Н4Т	16,6	17,0	18,0	18,0	18,0
03Х21Н21М4ГБ	14,9	15,7	16,6	17,3	17,5
06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ	15,3	15,9	16,5	16,9	17,3
08Х18Г8Н2Т	12,3	13,1	14,4	14,4	15,3
07Х13АГ20	16,5	17,5	18,0	18,5	—
02Х8Н22С6	12,3	13,9	14,9	15,7	16,2
20Х23Н18	15,7	—	16,6	17,3	17,5
А8, А85, АД0М, АД1М, АМц, АМг2, АМг3, АМг5, АМг6, АДМ	24,8	24,8	14,4	14,4	15,3
М2, М3, М3р, Л63, ЛС 59-1, ЛО 62-1, ЛЖМц 59-1-1	16,7	17,5	—	—	—
ВТ1-0, ВТ1-00, ОТ4-0, АТ3	8,8	8,9	9,3	—	—

Приложение Д
(обязательное)

Коэффициенты прочности сварных и паяных швов

Таблица Д.1 — Коэффициенты прочности сварных швов для стальных сосудов и аппаратов

Вид сварного шва и способ сварки	Коэффициент прочности сварных швов для стальных сосудов и аппаратов		Вид сварного шва и способ сварки	Коэффициент прочности сварных швов для стальных сосудов и аппаратов	
	Длина контролируемых швов от общей длины составляет 100 %*	Длина контролируемых швов от общей длины составляет от 10 до 50 %*		Длина контролируемых швов от общей длины составляет 100 %*	Длина контролируемых швов от общей длины составляет от 10 до 50 %*
Стыковой или тавровый с двусторонним сплошным проваром, выполняемый автоматической и полуавтоматической сваркой	1,0	0,9	Втавр, с конструктивным зазором свариваемых деталей	0,8	0,65
Стыковой с подваркой корня шва или тавровый с двусторонним сплошным проваром, выполняемый вручную	1,0	0,9	Стыковой, выполняемый автоматической и полуавтоматической сваркой с одной стороны с флюсовой или керамической подкладкой	0,9	0,8
Стыковой, доступный сварке только с одной стороны и имеющий в процессе сварки металлическую подкладку со стороны корня шва, прилегающую по всей длине шва к основному металлу	0,9	0,8	Стыковой, выполняемый вручную с одной стороны	0,9	0,65
* Объем контроля определяется техническими требованиями на изготовление.					

Таблица Д.2 — Коэффициенты прочности сварных швов для сосудов и аппаратов из алюминия и его сплавов

Вид сварного шва и способ сварки	Коэффициент прочности сварного шва
Стыковой двусторонний, односторонний с технологической подкладкой, выполняемые сваркой в защитном газе или плазменной сваркой; угловой с двусторонним сплошным проваром таврового соединения, выполняемый сваркой в защитном газе	0,90
Стыковой односторонний, тавровый с односторонним сплошным проваром, выполняемые сваркой в защитном газе	0,85
Стыковой с двусторонним сплошным проваром, выполняемый ручной дуговой сваркой	0,80
Стыковой односторонний, тавровый, выполняемые всеми способами сварки	0,75

Таблица Д.3 — Коэффициенты прочности сварных и паяных швов для сосудов и аппаратов из меди и ее сплавов

Вид сварного шва или паяного соединения и способ сварки	Коэффициент прочности сварного или паяного шва
Стыковой с двусторонним сплошным проваром, стыковой с подваркой корня шва, стыковой односторонний с технологической подкладкой, выполняемые автоматической дуговой сваркой неплавящимся электродом в защитном газе	0,92
Стыковой с двусторонним сплошным проваром, стыковой с подваркой корня шва, стыковой односторонний с технологической подкладкой, выполняемые ручной или полуавтоматической сваркой открытой дугой неплавящимся электродом или автоматической сваркой под флюсом	0,90
Стыковой с двусторонним сплошным проваром, выполняемый ручной дуговой сваркой	0,85
Стыковой односторонний с технологической подкладкой, выполняемый ручной дуговой сваркой	0,80
Паяное внахлестку	0,85

Таблица Д.4 — Коэффициент прочности сварных швов для сосудов и аппаратов из титана и его сплавов

Вид сварного шва и способ сварки	Коэффициент φ	
	Длина контролируемых швов от общей длины составляет 100 %*	Длина контролируемых швов от общей длины составляет от 10 % до 50 %*
Стыковой с двухсторонним проваром автоматической сваркой под флюсом, автоматическая или ручная сварка в среде аргона или гелия с двухсторонним сплошным проплавлением	0,95	0,85
Соединение втавр при обеспечении сплошного двухстороннего провара автоматической или ручной сваркой в среде аргона или гелия	0,90	0,80
Соединение в тавр, сплошной провар не обеспечивается	0,80	0,65
Стыковое соединение, доступное к сварке с одной стороны в защитной среде аргона или гелия и обеспечении защиты с обратной стороны	0,70	0,60
* Объем контроля определяется техническими требованиями на изготовление.		

УДК 66.023:006.354 ОКС 71.120 75.200 Г02 ОКП 36 1500

Ключевые слова: сосуды и аппараты, нормы и методы расчета на прочность, общие требования, допускаемые напряжения

Редактор *Р. Г. Говердовская*
Технический редактор *В. Н. Прусакова*
Корректор *Н. И. Гаврищук*
Компьютерная верстка *З. И. Мартыновой*

Подписано в печать 20.05.2009. Формат $60\times84^{1}/_{8}$. Бумага офсетная. Гарнитура Ариал.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 3,26. Уч.-изд. л. 2,60. Тираж 73 экз. Зак. 970.

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru info@gostinfo. ru
Набрано и отпечатано в Калужской типографии стандартов, 248021 Калуга, ул. Московская, 256.

gost.e-ecolog.ru