МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)
INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ 34233.1— 2017

Сосуды и аппараты

НОРМЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ

Общие требования

(ISO 16528-1:2007, NEQ)
(ISO 16528-2:2007, NEQ)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2019

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели, основные принципы и общие правила проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 523 «Техника и технологии добычи и переработки нефти и газа», Акционерным обществом «Научно-исследовательский и конструкторский институт химического машиностроения» (АО «НИИХИММАШ»), Закрытым акционерным обществом «ПЕТРОХИМ ИНЖИНИРИНГ» (ЗАО «ПХИ»), Акционерным обществом «Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт нефтяного машиностроения» (АО «ВНИИНЕФТЕМАШ»), Обществом с ограниченной ответственностью «Научно-техническое предприятие ЦЕНТРХИММАШ» (ООО «НТП ЦЕНТРХИММАШ»)

2 ВНЕСЕН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 14 июля 2017 г. № 101-П)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Армения	AM	Минэкономики Республики Армения
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт
Узбекистан	UZ	Узстандарт
Украина	UA	Минэкономразвития Украины

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 декабря 2017 г. № 1989-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 34233.1—2017 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 августа 2018 г.

5 В настоящем стандарте учтены основные нормативные положения следующих международных стандартов:

- ISO 16528-1:2007 «Котлы и сосуды, работающие под давлением. Часть 1. Требования к рабочим характеристикам» («Boilers and pressure vessels — Part 1: Performance requirements», NEQ);
- ISO 16528-2:2007 «Котлы и сосуды, работающие под давлением. Часть 2. Процедуры выполнения требований ISO 16528-1» («Boilers and pressure vessels — Part 2: Procedures for fulfilling the requirements of ISO 16528-1», NEQ)

6 Стандарт подготовлен на основе применения ГОСТ Р 52857.1—2007*

7 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

8 ПЕРЕИЗДАНИЕ. Апрель 2019 г.

* Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 декабря 2017 г. № 1989-ст ГОСТ Р 52857.1—2007 отменен с 1 августа 2018 г.

Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящего стандарта и изменений к нему на территории указанных выше государств публикуется в указателях национальных стандартов, издаваемых в этих государствах, а также в сети Интернет на сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации.

В случае пересмотра, изменения или отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации в каталоге «Межгосударственные стандарты»

© Стандартинформ, оформление, 2018, 2019

В Российской Федерации 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 и температурные напряжения 6
6 Рабочее, расчетное и пробное давление 7
7 Расчетные усилия и моменты 8
8 Допускаемые напряжения и коэффициенты запаса прочности 8
9 Коэффициенты запаса устойчивости 11
10 Модули продольной упругости и коэффициенты линейного расширения материалов 11
11 Коэффициенты прочности сварных и паяных швов 12
12 Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов 12
Приложение А (обязательное) Допускаемые напряжения для рабочих условий 13
Приложение Б (справочное) Расчетные механические характеристики материалов 18
Приложение В (справочное) Расчетные значения модуля продольной упругости 25
Приложение Г (справочное) Коэффициенты линейного расширения 26
Приложение Д (обязательное) Коэффициенты прочности сварных и паяных швов 27

Введение

Настоящий стандарт разработан с целью соблюдения требований безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением, и устранения противоречий в техническом содержании стандартов, имеющих одинаковую область распространения.

В настоящем стандарте реализованы основные положения следующих нормативных документов: Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 032/2013 «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением»; Директивы 2014/68/ЕС Европейского парламента и Совета от 15 мая 2014 г. по сближению законодательств государств-членов, касающейся оборудования, работающего под давлением; ЕН 13445-3:2014 «Сосуды, работающие под давлением. Часть 3. Расчет» (EN 13445-3:2014 «Unfired pressure vessel — Part 3: Design»).

М Е Ж Г О С У Д А Р С Т В Е Н Н Ы Й С Т А Н Д А Р Т

Сосуды и аппараты

НОРМЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ

Общие требования

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

Дата введения — 2018—08—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает нормы и методы расчета на прочность сосудов и аппаратов из углеродистых и легированных сталей, сплавов на железоникелевой основе, цветных металлов (алюминия, меди, титана и их сплавов), применяемых в химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей и других отраслях промышленности, работающих в условиях однократных и многократных статических нагрузок под внутренним избыточным давлением, вакуумом или наружным давлением, под действием осевых и поперечных усилий и изгибающих моментов, инерционных нагрузок и пр., а также устанавливает значения коэффициентов запаса прочности и устойчивости, допускаемых напряжений и коэффициентов прочности сварных швов.

Нормы и методы расчета на прочность применимы, если свойства материалов, требования к конструкции, изготовлению и контролю сосудов и аппаратов отвечают требованиям ГОСТ 34347.

Если отклонения от геометрической формы, неточности или качество изготовления, характеристики материала отличаются от требований нормативных технических документов, то при расчете на прочность эти отступления должны быть учтены корректировкой коэффициентов запаса и допускаемых напряжений, а также использованием иных методов расчета.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие межгосударственные стандарты:

ГОСТ 5949 Металлопродукция из сталей нержавеющих и сплавов на железоникелевой основе коррозионно-стойких, жаростойких и жаропрочных

ГОСТ 8479 Поковки из конструкционной углеродистой и легированной стали. Общие технические условия

ГОСТ 19281 Прокат повышенной прочности. Общие технические условия

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

ГОСТ 34233.2 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек

ГОСТ 34233.3 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 34233.4 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений

ГОСТ 34233.5 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок

Издание официальное

ГОСТ 34233.6 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках

ГОСТ 34233.7 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Теплообменные аппараты

ГОСТ 34233.8 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Сосуды и аппараты с рубашками

ГОСТ 34233.9 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Аппараты колонного типа

ГОСТ 34233.10 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Сосуды и аппараты, работающие с сероводородными средами

ГОСТ 34233.11 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 34233.12 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Требования к форме представления расчетов на прочность, выполняемых на ЭВМ

ГОСТ 34283 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность при ветровых, сейсмических и других внешних нагрузках

ГОСТ 34347 Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и классификаторов на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации (gost.e-ecolog.ru указателям национальных стандартов, издаваемых в государствах, указанных в предисловии, или на официальных сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации. Если на документ дана недатированная ссылка, то следует использовать документ, действующий на текущий момент, с учетом всех внесенных в него изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то следует использовать указанную версию этого документа. Если после принятия настоящего стандарта в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее проложение, на которое дана ссылка, то это положение применяется без учета данного изменения. Если документ отменен без замены, то положение, в котором даная 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 разрыву (запас по пределу прочности);

$n_т$ — коэффициент запаса прочности по пределу текучести;

$n_д$ — коэффициент запаса прочности по пределу длительной прочности;

$n_п$ — коэффициент запаса прочности по пределу ползучести;

$n_у$ — коэффициент запаса устойчивости;

$n_{вп}$ — 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 для элемента сосуда или аппарата, МПа;

$R_{e/t}$ — минимальный предел текучести при расчетной температуре, МПа;

$R_{e/20}$ — минимальный предел текучести при температуре 20 °С, МПа;

$R_{p0,2/t}$ — минимальный условный предел текучести при остаточном удлинении 0,2 % при расчетной температуре, МПа;

$R_{p0,2/20}$ — минимальный условный предел текучести при остаточном удлинении 0,2 % при температуре 20 °С, МПа;

$R_{p1,0/t}$ — минимальный условный предел текучести при остаточном удлинении 1,0 % при расчетной температуре, МПа;

$R_{p1,0/20}$ — минимальный условный предел текучести при остаточном удлинении 1,0 % при температуре 20 °С, МПа;

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

$R_{m/20}$ — минимальное значение временного сопротивления разрыву при температуре 20 °С, МПа;

$R_{m/10^n/t}$ — среднее значение предела длительной прочности при растяжении для ресурса 10^n ч при расчетной температуре, МПа;

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

s — исполнительная толщина стенки элемента сосуда, мм;

$s_{осн}$ — толщина основного слоя двухслойной стали, мм;

$s_{пл}$ — толщина коррозионно-стойкого слоя двухслойной стали, мм;

$s_р$ — расчетная толщина стенки элемента сосуда, мм;

T_i — длительность этапов эксплуатации в условиях ползучести при i-м сочетании температур и нагрузок (i = 1, 2, …, n), ч;

$[T]_i$ — расчетное допустимое время эксплуатации при i-м сочетании температур и нагрузок (i = 1, 2, …, n), ч;

t — расчетная температура стенки элемента сосуда, °С;

α — коэффициент линейного расширения материала, 1/°С;

η — поправочный коэффициент к допускаемым напряжениям стальных отливок;

σ_m — общие мембранные напряжения, МПа;

$\sigma_{m.L}$ — местные мембранные напряжения, МПа;

$\sigma_и$ — общие изгибные напряжения, МПа;

$\sigma_{и.L}$ — местные изгибные напряжения, МПа;

σ_t — общие температурные напряжения, МПа;

$\sigma_{t.L}$ — местные температурные напряжения, МПа;

$[\sigma]$ — допускаемое напряжение при расчетной температуре, МПа;

$[\sigma]_1$ — допускаемое напряжение основного металла для элементов из двухслойной стали при расчетной температуре, МПа;

$[\sigma]_2$ — допускаемое напряжение коррозионно-стойкого слоя для элементов из двухслойной стали при расчетной температуре, МПа;

$[\sigma]_{20}$ — допускаемое напряжение при температуре 20 °С с коэффициентами запаса прочности для рабочих условий, МПа;

$[\sigma]_м$ — допускаемое условно-упругое напряжение при расчетной температуре для оценки напряжений, определяемых по суммам составляющих общих или местных мембранных и общих изгибных напряжений, МПа;

$[\sigma]_R$ — допускаемое значение суммарных мембранных (общих или местных), изгибных (общих и местных) и температурных напряжений, МПа;

$\tau_{ср}$ — средние по сечению сдвигающие напряжения, МПа;

τ_{max} — максимальные сдвигающие напряжения, МПа;

φ — коэффициент прочности сварных и паяных швов.

4 Общие положения

4.1 Расчет на прочность необходимо проводить для всех прогнозируемых состояний сосудов и аппаратов, работающих под давлением, возникающих во время их эксплуатации, испытания, транспортирования, монтажа. При этом следует учитывать все нагрузки и внешние факторы, которые могут оказать влияние на прочность и устойчивость конструкции, а также учитывать вероятность их одновременного воздействия.

В частности, при определении расчетных параметров для каждого элемента сосуда или аппарата необходимо учитывать при условии их наличия следующие нагрузки и факторы:

- внутреннее и/или наружное давление;
- температуры окружающей среды и рабочие температуры;
- разность температур в переходных состояниях или разность коэффициентов линейного расширения;
- нагрузки от массы сосуда и его содержимого в рабочих условиях и условиях испытания;

- нагрузки при транспортировании и монтаже сосуда;
- инерционные нагрузки при движении, остановках и колебаниях элементов сосудов и аппаратов;
- нагрузки от ветровых и сейсмических воздействий;
- реактивные усилия (противодействия), которые передаются от опор, креплений, трубопроводов и т. д.;
- ударные нагрузки от воздействия газожидкостной смеси или иных причин;
- разность температур в переходных состояниях и/или разность коэффициентов линейного расширения;
- нагрузки от стесненности температурных деформаций;
- изменения давления и температуры как в процессе нормальной эксплуатации, так и при возможных нарушениях режима работы;
- ползучесть металла;
- усталость при переменных нагрузках;
- вибрацию;
- резонанс;
- коррозию и эрозию;
- старение металла, охрупчивание под действием среды и другие механизмы деградации материала.

4.2 При проектировании сосудов и аппаратов и выполнении расчетов на прочность необходимо учитывать все возможные предельные состояния, которые могут привести к выходу конструкции из строя и/или потере работоспособности.

4.2.1 К основным предельным состояниям при статическом нагружении, не зависящим от времени эксплуатации, относятся:

а) недопустимая общая пластическая деформация, разрушение, связанное с образованием трещин при значительной общей пластической деформации, пластическая потеря устойчивости, пластическое разрушение из-за чрезмерных местных деформаций;

б) упругая или упругопластическая потеря устойчивости конструкции в целом или ее отдельных частей;

в) значительная упругая или пластическая деформация, приводящая к потере герметичности разъемных соединений или к потере работоспособности конструкции при эксплуатации;

г) хрупкое разрушение.

4.2.2 К основным предельным состояниям при статическом нагружении, зависящим от времени эксплуатации, относятся:

а) разрушение при ползучести, связанное с деградацией свойств материала и исчерпанием запаса длительной прочности;

б) значительная деформация, вызванная ползучестью, приводящая к потере герметичности разъемных соединений или к потере работоспособности конструкции при эксплуатации;

в) потеря устойчивости при ползучести;

г) коррозия и/или эрозия;

д) сероводородное коррозионное растрескивание под напряжением, водородное растрескивание и т. д.

4.2.3 К основным предельным состояниям при повторно-статическом и циклическом нагружениях относятся:

а) накопление местных пластических деформаций при повторно-статическом нагружении, приводящее к образованию трещин при значительном уровне местных пластических деформаций и сравнительно небольшом числе циклов;

б) малоцикловая усталость, приводящая к образованию усталостных трещин при местных упругопластических деформациях;

в) усталость, приводящая к образованию усталостных трещин при номинальных упругих деформациях;

г) совместное воздействие усталости и ползучести;

д) усталость в условиях воздействия сред, вызывающих коррозионное растрескивание под напряжением, сероводородное коррозионное растрескивание и т. д.;

е) прогрессирующая пластическая деформация при циклическом нагружении, приводящая к недопустимым изменениям формы конструкции и потере работоспособности.

4.3 В качестве критерия прочности, позволяющего использовать прочностные характеристики, полученные при одноосном растяжении, для анализа прочности элементов конструкции, находящихся в двух- или трехосном напряженно-деформированном состоянии, в ГОСТ 34233.1 — ГОСТ 34233.11 используется критерий прочности по теории максимальных касательных напряжений, за исключением сосудов из титана и титановых сплавов, для которых используется критерий прочности Мизеса — Хилла. В настоящем стандарте учет этого критерия для трансверсально-изотропных материалов осуществляют корректировкой коэффициентов запаса прочности. Применение этих критериев обязательно в любых расчетах, использующих коэффициенты запаса и допускаемые напряжения по ГОСТ 34233.1.

4.4 Нормы и методы расчета на прочность, приведенные в ГОСТ 34233.1 — ГОСТ 34233.11, учитывают основные виды нагружения и основные, наиболее часто встречающиеся предельные состояния, которые могут привести к выходу конструкции из строя и/или потере работоспособности. При этом при соблюдении требований к материалам, конструкции, изготовлению и контролю, приведенных в ГОСТ 34347 и в соответствующих нормативных документах для сосудов и аппаратов из цветных металлов, исключается возможность хрупкого разрушения [см. перечисление г) 4.2.1].

В ГОСТ 34233.1 — ГОСТ 34233.11 рассматриваются предельные состояния [см. перечисления а), б), в) 4.2.1, перечисления а), г), д) 4.2.2, перечисления а), б) 4.2.3] при действии основных нагрузок и факторов, приведенных в 4.1. Как правило, проведения расчетов в соответствии с ГОСТ 34233.1 — ГОСТ 34233.11 достаточно для подтверждения прочности и плотности сосуда или аппарата. В отдельных случаях необходимо учитывать особенности нагружения и предельные состояния, методики учета которых не приведены в ГОСТ 34233.1 — ГОСТ 34233.11, и выполнять для подтверждения прочности и работоспособности сосудов и аппаратов специальные дополнительные расчеты и/или испытания, выходящие за рамки ГОСТ 34233.1 — ГОСТ 34233.11.

4.5 Для подтверждения прочности, плотности, устойчивости и работоспособности конструкции могут быть использованы:

- расчет по формулам, приведенным в ГОСТ 34233.1 — ГОСТ 34233.11;
- численное моделирование напряженно-деформированного состояния и предельных состояний конструкции;
- подтверждение прочности, плотности и работоспособности конструкции с помощью экспериментальных исследований и испытаний.

Эти методы могут использоваться как по отдельности, так и совместно для получения наиболее надежных результатов.

4.5.1 Расчеты на прочность элементов сосудов и аппаратов в ГОСТ 34233.2, элементов теплообменных аппаратов с плавающей головкой, *U*-образными трубами и камер секций аппаратов воздушного охлаждения в ГОСТ 34233.7 выполняются по методу предельных нагрузок.

В основу методов расчета узлов врезки штуцеров, приведенных в ГОСТ 34233.3, положены результаты экспериментальных исследований, приближенные расчеты по методу предельных нагрузок и условный упругий расчет напряжений с оценкой по категориям приведенных напряжений.

Условный упругий расчет напряжений используется также для расчета фланцевых соединений — по ГОСТ 34233.4, оценки малоцикловой усталости — по ГОСТ 34233.6, расчета элементов кожухотрубчатых теплообменных аппаратов с неподвижными трубными решетками и компенсатором на кожухе — по ГОСТ 34233.7, расчета элементов аппаратов с рубашками — по ГОСТ 34233.8.

Для расчета элементов сосудов и аппаратов в узлах опирания в ГОСТ 34233.5 в основном используют смешанный метод, при котором напряженно-деформированное состояние рассматриваемых узлов определяют с помощью условного упругого расчета, а оценку проводят по предельному состоянию пластической балки-полоски.

4.5.2 Основным условием применения расчета по методу предельных нагрузок является достаточная пластичность материалов.

Условно материал считается пластичным, если ударная вязкость на образцах KCV более 27 Дж/см^2, удлинение образца при разрыве превышает 14 %, а отношение предела текучести к временному сопротивлению не более 0,8. Если материал не обладает достаточной пластичностью, то допускаемое напряжение определяют на основании специальных исследований или применяют другие методы расчета.

4.5.3 Предельная нагрузка определяется на основе анализа, использующего теорему о нижней границе несущей способности и расчетную схему, предполагающую, что материал является жесткопластическим, зависимость деформация — перемещение относится к теории малых перемещений и при решении уравнений равновесия не учитываются перемещения элементов конструкции под нагрузкой.

4.5.4 Для обеспечения единого подхода и удобства расчета коэффициенты запаса прочности по отношению к предельным нагрузкам отнесены к прочностным характеристикам используемого материала и учитываются при назначении допускаемых напряжений.

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

4.5.6 Численное моделирование конструкции проводят, когда конструктивные особенности или особенности нагружения не позволяют рассчитать ее с помощью расчетных формул ГОСТ 34233.2 — ГОСТ 34233.11, когда те или иные параметры конструкции выходят за пределы применения расчетных формул ГОСТ 34233.2 — ГОСТ 34233.11 или в ГОСТ 34233.2 — ГОСТ 34233.11 содержатся прямые указания на возможность выполнения альтернативного расчета численными методами, при этом следует руководствоваться дополнительными требованиями, содержащимися в ГОСТ 34233.2 — ГОСТ 34233.11.

4.5.7 Численное моделирование конструкции может осуществляться с использованием следующих моделей поведения материала: условно упругого и упругопластического.

4.5.7.1 Условный упругий расчет проводят с оценкой по категориям напряжений.

Критерии оценки результатов условного упругого расчета приведены в 8.10.

4.5.7.2 Упругопластический расчет проводят с учетом физической и в случае необходимости геометрической нелинейности. Этот метод позволяет получить более точную оценку прочности, устойчивости и работоспособности конструкции, но существенно сложнее условного упругого расчета.

4.5.8 Допускается также при анализе конструкций, отсутствующих в ГОСТ 34233.2 — ГОСТ 34233.11 или выходящих за пределы применения расчетных формул ГОСТ 34233.2 — ГОСТ 34233.11, использовать методы и подходы, аналогичные используемым в соответствующих стандартах и перечисленные в 4.5.1.

5 Расчетная температура и температурные напряжения

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

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

За расчетную температуру стенки сосуда или аппарата принимают наибольшую температуру стенки элемента с учетом температурных условий, ожидаемых в процессе эксплуатации. При рабочей температуре среды ниже 20 °С за расчетную температуру при определении допускаемых напряжений принимают температуру 20 °С. Минимальные температуры стенки элементов сосудов и аппаратов, находящихся под давлением, используют при выборе материалов для того, чтобы избежать возникновения условий, при которых возможно хрупкое разрушение.

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 отсутствуют более точные данные.

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

5.5 Расчет с учетом температурных напряжений следует выполнять в случаях, указанных в ГОСТ 34233.2 — ГОСТ 34233.4, ГОСТ 34233.6 — ГОСТ 34233.11, и при выполнении расчетов в соответствии с 8.10.

5.6 При расчете напряжений, вызванных стесненностью температурных деформаций, используют возможные при эксплуатации значения температур различных элементов, приводящие к возникновению наибольших температурных напряжений или наиболее неблагоприятного сочетания различных напряжений. Эти температуры могут отличаться от расчетных температур, используемых при определении допускаемых напряжений.

5.7 Напряжения, вызванные стесненностью температурных деформаций, представляют особую опасность при значительном числе теплосмен. При относительно высоких скоростях нагрева и/или

охлаждения элементов сосуда или аппарата температуры, используемые при расчете напряжений, вызванных стесненностью температурных деформаций, следует определять, исходя из результатов решения задачи нестационарной теплопроводности, учитывающей влияние на распределение температур скорости нагрева — охлаждения.

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 в рабочих условиях следует понимать давление, на которое проводят расчет на прочность.

Расчетное давление для сосуда или аппарата принимают (назначают), как правило, равным рабочему давлению или выше.

При назначении расчетного давления необходимо учитывать нестабильность перерабатываемых сред и технологического процесса.

Необходимость превышения расчетного давления над рабочим определяют с учетом назначения сосуда или аппарата, условий его эксплуатации и наличия предохранительных устройств.

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

Если в сосуде или аппарате имеются два герметично разделенных пространства или более, значения расчетного давления назначаются для каждого из пространств в отдельности.

При проектировании сосуда или изменении параметров эксплуатации при реконструкции расчетное давление для сосуда или аппарата должно либо задаваться заказчиком, либо определяться организацией, выполняющей расчет сосуда.

Если сосуд или аппарат работает в двух или более режимах, расчетное давление назначается для каждого режима в отдельности.

6.3 Для каждого элемента сосуда или аппарата при расчетах используют свое значение расчетного давления, которое должно учитывать:

- внутреннее избыточное/наружное давление;
- гидростатическое давление от среды, содержащейся в сосуде;
- инерционные нагрузки при движении или сейсмических воздействиях.

Гидростатическое давление от среды, содержащейся в сосуде, учитывают при назначении расчетного давления для элемента сосуда в том случае, если оно равно или более 5 % расчетного давления для сосуда.

Для элементов сосуда или аппарата, 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.

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

Для сосуда или аппарата, работающего в двух или более режимах, значение пробного давления принимается наибольшим из определенных для каждого режима.

6.5 Под расчетным давлением в условиях испытаний для элементов сосудов или аппаратов следует принимать давление, которому они подвергаются во время пробного испытания, включая гидростатическое давление. Гидростатическое давление от среды, содержащейся в сосуде, учитывают при назначении расчетного давления для элемента сосуда в случае, если оно равно или более 5 % пробного давления.

7 Расчетные усилия и моменты

За расчетные усилия и моменты принимают действующие для соответствующего состояния нагружения (например, при эксплуатации, испытании или монтаже) внутренние усилия и моменты, возникающие в результате действия собственной массы сосуда и аппарата, массы рабочей среды, инерционных нагрузок, нагрузок от реакции опор и присоединенных трубопроводов, сейсмических, ветровых и других внешних нагрузок.

Расчетные усилия и моменты от ветровых, сейсмических и других внешних нагрузок определяют по ГОСТ 34283.

8 Допускаемые напряжения и коэффициенты запаса прочности

8.1 Допускаемое напряжение $[\sigma]$ при расчете по предельным нагрузкам сосудов и аппаратов, работающих при статических однократных нагрузках, вычисляют по формулам:

- для углеродистых, низколегированных марганцовистых и марганцево-кремнистых, легированных хромомолибденовых и хромомолибденованадиевых, ферритных, аустенитно-ферритных, мартенситных сталей и сплавов на железоникелевой основе:

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

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

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

Предел ползучести используют для определения допускаемого напряжения, когда отсутствуют данные по пределу длительной прочности или когда 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

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

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

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

Для условий испытаний сосудов из аустенитных сталей допускаемое напряжение вычисляют по формуле

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

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

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

$$[\sigma] = \eta\left\{\frac{R_{p0,2/20}}{n_т} \text{ или } \frac{R_{p1,0/20}}{n_т}\right\}. \quad (7)$$

Если допускаемое напряжение для рабочих условий определяют по формуле (3), то для сосудов из алюминия, меди и их сплавов допускаемое напряжение для условий испытания вычисляют по формуле

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

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

$$[\sigma] = \frac{R_{m/20}}{n_{вт}}. \quad (9)$$

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

Таблица 1 — Коэффициенты запаса прочности материалов

Условия нагружения	Коэффициенты запаса прочности							
	сталей, сплавов на железоникелевой основе, алюминия, меди и их сплавов [формулы (1), (2), (5), (6), (7)]				алюминия, меди и их сплавов [формулы (3), (8)]	алюминиевых литейных сплавов [формулы (3), (8)]	титанового листового проката и прокатных труб [формулы (4), (9)]	титановых прутков и поковок [формулы (4), (9)]
	$n_т$	$n_в^*$	$n_д$	$n_п$	$n_{вп}$	$n_{вп}$	$n_{вт}$	$n_{вт}$
Рабочие условия	1,5	2,4	1,5	1,0	3,5	7,0	2,6	3,0
Условия испытания:								
- гидравлические	1,1	—	—	—	1,8	3,5	1,8	1,8
- пневматические	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 в формуле (2) $n_в$ = 3,0.

Если допускаемое напряжение для сталей аустенитного класса вычисляют по условному пределу текучести при остаточном удлинении 0,2 %, 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, и 0,7 — для остальных отливок.

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

8.5 Для материалов, широко используемых в химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности, допускаемые напряжения для рабочих условий при η, равном 1, приведены в приложении А.

8.6 Допускаемые напряжения для материалов, не приведенных в приложении А, определяют по 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 числа образцов, обеспечивающих гарантированные значения прочностных характеристик материала.

Для импортных материалов, применяемых для изготовления сосудов, работающих под давлением, коэффициенты запаса при выборе допускаемых напряжений должны быть не ниже значений, указанных в таблице 1.

8.7 Для стальных элементов сосудов и аппаратов, работающих в условиях ползучести при разных за весь период эксплуатации расчетных температурах, давлениях и других нагрузках, следует выполнять расчет на каждое из возможных в течение эксплуатации в условиях ползучести сочетание нагрузок и определять для этого сочетания нагрузок расчетное допускаемое время эксплуатации $[T]_i$.

При этом должно соблюдаться условие

$$\sum_{1}^{n} \frac{T_i}{[T]_i} \le 1. \qquad (10)$$

При определении величины $[T]_i$ следует использовать допускаемые напряжения, определенные в соответствии с 8.1—8.3 на базе длительных характеристик материала: предела длительной прочности и/или предела ползучести. Величины предела длительной прочности и/или предела ползучести для расчетного ресурса менее 10^5 ч и более $2 \cdot 10^5$ ч, а также при температурах, для которых в приложении А отсутствуют значения допускаемых напряжений, зависящих от расчетного ресурса, определяют на основе справочных данных или результатов испытаний, выполненных в соответствии с требованиями 8.6.

В случае непрерывного изменения температур в процессе эксплуатации этапы эксплуатации при разной температуре стенки рекомендуется принимать по интервалам температуры, не превышающим 10 °С.

8.8 Допускаемое напряжение для сосудов из двухслойных сталей вычисляют по формуле

$$[\sigma] = \frac{[\sigma]_1 (s_{\text{осн}} - c) + [\sigma]_2 (s_{\text{пл}} - c)}{(s_{\text{осн}} - c) + (s_{\text{пл}} - c)}, \qquad (11)$$

где $[\sigma]_1$ и $[\sigma]_2$ — 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 (11), 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 Сосуды и аппараты, работающие при малоцикловых нагрузках, дополнительно рассчитываются по ГОСТ 34233.6.

8.10 Для элементов сосудов и аппаратов, рассчитываемых по условным упругим напряжениям, оценку следует проводить по приведенным значениям напряжений в критических сечениях, которые разбивают по категориям на общие и местные напряжения:

σ_m — общие мембранные напряжения;

$\sigma_{m.L}$ — местные мембранные напряжения;

$\sigma_и$ — общие изгибные напряжения;

$\sigma_{и.L}$ — местные изгибные напряжения;

σ_t — общие температурные напряжения;

$\sigma_{t.L}$ — местные температурные напряжения.

Приведенные напряжения в критических расчетных сечениях сосудов и аппаратов из стали, алюминия, меди и их сплавов определяют в соответствии с теорией максимальных касательных напряжений, за исключением сосудов из титана и титановых сплавов, для которых используется критерий

Мизеса — Хилла для трансверсально-изотропных материалов, у которых механические свойства изотропны в плоскости слоя и анизотропны по толщине. Допускается определять приведенные напряжения для оболочечных конструкций из титана и титановых сплавов так же, как для стали. При этом влияние анизотропии учитывают при оценке несущей способности введением повышенного значения запаса прочности в соответствии с 8.2.

Условия статической прочности при расчетных температурах ниже температур, при которых допускаемые напряжения устанавливают по пределам длительной прочности или ползучести, выполняются, если

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

$$\left(\sigma_m \text{ или } \sigma_{m.L}\right) + \sigma_и \le [\sigma]_м, \tag{12}$$

$$\left(\sigma_m \text{ или } \sigma_{m.L}\right) + \sigma_и + \sigma_{и.L} + \sigma_t + \sigma_{t.L} \le [\sigma]_R,$$

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

Условия статической прочности при расчетных температурах, при которых допускаемые напряжения устанавливают по пределам длительной прочности или ползучести, выполняются, если

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

$$\left(\sigma_m \text{ или } \sigma_{m.L}\right) + 0{,}8\sigma_и \le [\sigma]_м, \tag{13}$$

$$\left(\sigma_m \text{ или } \sigma_{m.L}\right) + 0{,}8\left(\sigma_и + \sigma_{и.L} + \sigma_t + \sigma_{t.L}\right) \le [\sigma]_R,$$

где $[\sigma]_м = [\sigma]$; $[\sigma]_R = 1{,}4[\sigma]$.

В формулах (12), (13) используются линеаризованные по сечению значения приведенных напряжений.

При чистом сдвиге должны выполняться следующие требования:

- для средних по сечению сдвигающих напряжений:

$$\tau_{ср} \le 0{,}5[\sigma], \tag{14}$$

- для максимальных сдвигающих напряжений:

$$\tau_{max} \le 0{,}8[\sigma]. \tag{15}$$

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:

- $n_y = 2{,}4$ — для рабочих условий;
- $n_y = 1{,}8$ — для условий испытания и монтажа.

10 Модули продольной упругости и коэффициенты линейного расширения материалов

10.1 Расчетные значения модулей продольной упругости материалов приведены в приложении В.

10.2 Расчетные значения коэффициентов линейного расширения приведены в приложении Г.

11 Коэффициенты прочности сварных и паяных швов

При расчете на прочность сварных элементов сосудов допускаемые напряжения умножают на коэффициент прочности сварных (паяных) швов φ, зависящий от типа шва и от объема неразрушающего контроля соединения сварного (паяного) соединения.

Числовые значения этих коэффициентов приведены в приложении Д.

Для бесшовных элементов сосудов коэффициент φ равен 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

$$s \geq s_p + c, \tag{16}$$

где s_p — расчетная толщина стенки элемента сосуда.

Сумму прибавок к расчетным толщинам вычисляют по формуле

$$c = c_1 + c_2 + c_3. \tag{17}$$

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.

Элементы сосудов и аппаратов, определяющие их прочность, отбраковывают, если фактическая толщина стенки обечаек корпуса, штуцеров, крышек, заглушек и других уменьшилась до значений, определенных расчетами по действующим методикам (ГОСТ 34233.2 — ГОСТ 34233.11 и др.) без учета прибавки на коррозию.

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, термической обработке, 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, если 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)

Допускаемые напряжения для рабочих условий

Таблица А.1 — Допускаемые напряжения для углеродистых, низколегированных марганцовистых и марганцево-кремнистых 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		Св. 20		До 32		Св. 32		До 160							
	Расчетный ресурс, ч															
	10^5	$2{\cdot}10^5$	10^5	$2{\cdot}10^5$	10^5	$2{\cdot}10^5$	10^5	$2{\cdot}10^5$	10^5	$2{\cdot}10^5$	10^5	$2{\cdot}10^5$	10^5	$2{\cdot}10^5$	10^5	$2{\cdot}10^5$
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	68	85	68	122		105		92	74	77	61	92	78	105	
410	81	65	81	65	104		104		86	69	75	60	86	73	104	
420	75	60	75	60	92		92		80	64	72	57	80	68	92	
430	71*	57*	71*	57*	86	73	86	73	75	60	68	54	75	64	86	73
440	—	—	—	—	78	66	78	66	67	53	60	48	67	57	78	66
450	—	—	—	—	71	53	71	53	61	49	53	42	61	46	71	53
460	—	—	—	—	64	48	64	48	55	44	47	37	55	41	64	48
470	—	—	—	—	56	42	56	42	49	39	42	33	49	37	56	42
475	—	—	—	—	53	40	53	40	46	36	37	29	46	34	53	40

* Для расчетной температуры стенки 425 °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 труб из стали марки 09Г2С допускаемые напряжения независимо от толщины принимают равными указанным в графе, соответствующей толщине свыше 32 мм.

6 Для поковок из стали марки 09Г2С категории прочности 245 по ГОСТ 8479 допускаемые напряжения принимают равными указанным в графе, соответствующей толщине свыше 32 мм, умноженными на 0,9.

7 Для стали марок 09Г2С, 16ГС классов прочности 265 и 295 по ГОСТ 19281 допускаемые напряжения независимо от толщины листа принимают равными указанным в графе, соответствующей толщине свыше 32 мм.

8 Выше черты приведены значения допускаемых напряжений, не зависящих от расчетного ресурса. Расчетный ресурс работы в условиях ползучести определяют по условиям нагружения и продолжительности работы сосуда при ползучести.

9 Для снижения температурного предела применения на 20 °С (но не ниже минус 70 °С) допускаемые напряжения уменьшают в 1,35 раза при условии проведения термообработки сосуда, при отсутствии термообработки сосуда допускаемые напряжения уменьшают в 2,85 раза.

Таблица А.2 — Допускаемые напряжения для теплоустойчивых хромомолибденовых сталей

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Допускаемое напряжение [σ], МПа, для сталей марок											
	12ХМ		12МХ		15ХМ		15Х5М		15Х5М-У		10Х2М1А-А	
	Расчетный ресурс, ч											
	10^5	$2 \cdot 10^5$	10^5	$2 \cdot 10^5$	10^5	$2 \cdot 10^5$	10^5	$2 \cdot 10^5$	10^5	$2 \cdot 10^5$	10^5	$2 \cdot 10^5$
20	147		147		155		146		240		204	
100	146,5		146,5		153		141		235		190	
150	146		146		152,5		138		230		180	
200	145		145		152		134		225		175	
250	145		145		152		127		220		170	
300	141		141		147		120		210		168	
350	137		137		142		114		200		165	
375	135		135		140		110		180		163	
400	132		132		137		105		170		160	
410	130		130		136		103		160		159	
420	129		129		135		101		150		158	
430	127		127		134		99		140	119	156	
440	126		126		132		96		135	115	155	
450	126		126		132		96		130	110	154	
460	126		126		132		96		126	107	140	
470	117		117		122		89	75	122	104	130	
480	114		114		117		86	73	118	100	120	107
490	105	89	105	89	107	91	83	70	114	97	104	93
500	96	72	96	72	99	74	79	59	108	81	88	78
510	82	61	82	61	84	63	72	54	97	73	80	71
520	69	52	69	52	74	55	66	50	85	64	70	62
530	60	45	57	43	67	50	60	45	72	54	60	53
540	50	37	47	35	57	43	54	40	58	43	52	45
550	41	31	—	—	49	37	47	35	52	39	45	38
560	33	25	—	—	41	31	40	30	45	34	38	33
570	—	—	—	—	—	—	35	26	40	30	32	27
580	—	—	—	—	—	—	30	22	34	25	27	23
590	—	—	—	—	—	—	28	21	30	22	24	20
600	—	—	—	—	—	—	25	19	25	19	19	16
610	—	—	—	—	—	—	20	15	20	15	17	—
620	—	—	—	—	—	—	18	13	18	13	14	—
630	—	—	—	—	—	—	17	12	17	12	11	—
640	—	—	—	—	—	—	16	11	16	11	10	—
650	—	—	—	—	—	—	14	10	14	10	9	—

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 Выше черты приведены значения допускаемых напряжений, не зависящих от расчетного ресурса.

Расчетный ресурс работы в условиях ползучести определяют по условиям нагружения и продолжительности работы сосуда при ползучести.

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
				Расчетный ресурс, ч				
				10^5	$2{\cdot}10^5$	10^5	$2{\cdot}10^5$	
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	71	124	111	—
540	—	—	—	78	70	111	100	—
550	—	—	—	76	68	111	99	—
560	—	—	—	73	66	101	91	—
570	—	—	—	69	62	97	87	—
580	—	—	—	65	58	90	81	—
590	—	—	—	61	55	81	73	—
600	—	—	—	57	46	74	59	—
610	—	—	—	—	—	68	54	—
620	—	—	—	—	—	62	50	—
630	—	—	—	—	—	57	45	—
640	—	—	—	—	—	52	41	—
650	—	—	—	—	—	48	38	—
660	—	—	—	—	—	45	36	—
670	—	—	—	—	—	42	33	—
680	—	—	—	—	—	38	30	—
690	—	—	—	—	—	34	27	—
700	—	—	—	—	—	30	24	—

Окончание таблицы А.3

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.

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

4 Для сортового проката из стали марок 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т допускаемые напряжения, приведенные в настоящей таблице, при температурах не выше 550 °С умножают на отношение $R^{*}_{p0,2/20}/240$.

5 Для поковок и сортового проката из стали марки 08Х18Н10Т допускаемые напряжения, приведенные в настоящей таблице, при температурах не выше 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 допускаемые напряжения, приведенные в настоящей таблице, умножают на 0,88.

9 Для поковок из стали марки 03Х21Н21М4ГБ допускаемые напряжения, приведенные в настоящей таблице, умножают на отношение $R^{**}_{p0,2/20}/250$.

10 Выше черты приведены значения допускаемых напряжений, не зависящих от расчетного ресурса. Расчетный ресурс работы в условиях ползучести определяется по условиям нагружения и по продолжительности работы сосуда при ползучести.

---

* Предел текучести материала сортового проката $R_{p0,2/20}$ по ГОСТ 5949.

** Предел текучести материала поковок $R_{p0,2/20}$ по ГОСТ 25054.

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

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Допускаемое напряжение [σ], МПа, для сталей и сплавов марок					
	08Х18Г8Н2Т	07Х13АГ20	02Х8Н22С6	15Х18Н12С4ТЮ	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	АМцМ, АМцСМ	АМг2М, АМг3М	АМг5М, АМг6М
20	16	20	33	47	73
50	15	19	31	47	69
100	14	17	28	45	61
120	13	14	25	44	58
130	12	13	24	40	52
140	11	12	19	34	46
150	11	11	16	31	40

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	54	54	70	108	136
50	49	50	51	67	106	134
100	48	45	46	63	100	124
150	43	42	42	60	95	120
200	38	39	38	57	90	106
210	—	38	37	55	80	97
220	—	37	36	52	70	85
230	—	36	35	42	60	69
240	—	34	34	34	50	51
250	—	33	33	33	40	30

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, умножают на 0,8.

Приложение Б
(справочное)

Расчетные механические характеристики материалов

Таблица Б.1 — Расчетное значение предела текучести $R_{e/t}$ для углеродистых, низколегированных марганцовистых и марганцево-кремнистых 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	Св. 20	До 32	Св. 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, низколегированных марганцовистых и марганцево-кремнистых 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	Св. 20	До 32	Св. 32	До 160		
20	460	380	470	40	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 $R_{e/t}$ для теплоустойчивых хромомолибденовых сталей

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Расчетное значение предела текучести R_e, МПа, для сталей марок					
	12МХ	12ХМ	15ХМ	15Х5М	15Х5М-У	10Х2М1А-А
20	220	220	233	220	400	310
100	219	219	230	210	352,5	303
150	218	218	229	207	345	300
200	217,5	217,5	228	201	337,5	296
250	217,5	217,5	228	190	330	292
300	212	212	220	180	315	289
350	206	206	213	171	300	285
375	202	202	210	164	270	283
400	198	198	205	158	255	282
410	195	195	204	155	240	280
420	194	194	202	152	225	277
430	190	190	201	149	224	275
440	189	189	198	144	222	272
450	186	186	196	141	221	270
460	183	183	190	137	218	269
470	175	175	183	136	216	268
480	171	171	175	135	214	266
490	—	—	—	—	—	265
500	—	—	—	—	—	264
550	—	—	—	—	—	245
600	—	—	—	—	—	235

Таблица Б.4 — Расчетное значение временного сопротивления $R_{m/t}$ для теплоустойчивых хромомолибденовых сталей

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Расчетное значение временного сопротивления R_m, МПа, для сталей марок					
	12МХ	12ХМ	15ХМ	15Х5М	15Х5М-У	10Х2М1А-А
20	50	450	450	400	600	490
100	440	440	440	380	572	485
150	434	434	431	355	555	480
200	430	430	421	330	535	475
250	440	437	421	320	520	472
300	454	445	412	318	503	467
350	437	442	392	314	492	463
375	427	436	382	312	484	462
400	415	426	372	310	472	461
410	413	424	366	306	468	454
420	410	421	360	300	462	447
430	400	400	354	298	460	439
440	377	377	349	296	458	432
450	333	333	343	294	456	425
460	325	325	333	292	454	419
470	317	317	323	290	452	414
480	310	310	313	288	450	408
490	—	—	—	—	—	403
500	—	—	—	—	—	397
550	—	—	—	—	—	351
600	—	—	—	—	—	281

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

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Расчетное значение предела текучести $R_{p0,2}$, МПа, для сталей и сплавов марок					
	08Х18Г8Н2Т	07Х13АГ20	02Х8Н22С6	15Х18Н12С4ТЮ	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 и сплавов на железоникелевой основе

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Расчетное значение временного сопротивления R_m, МПа, для сталей и сплавов 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	—	—	—

Окончание таблицы Б.7

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
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 температуре 20 °С следует принимать:

- для поковок из стали марок 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т: $R_{p1,0/20}$ (листа)/1,2;
- поковок и сортового проката из стали марки 08Х18Н10Т: $R_{p1,0/20}$ (листа)/1,05;
- сортового проката из стали марок 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т: $1,15R_{p1,0/20}$(сорта);
- поковок из стали марок 03Х17Н14М3, 03Х18Н11: $R_{p1,0/20}$ (листа)/1,11;
- сортового проката из стали марки 03Х18Н11: $R_{p1,0/20}$ (листа)/1,25;
- труб из стали марки 03Х21Н21М4ГБ: $R_{p1,0/20}$ (листа)/1,14;
- поковок из стали марки 03Х21Н21М42Б: $1,08R_{p0,2/20}$ (поковки)

[$R_{p0,2/20}$ — предел текучести материала поковок 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
420	180	128	—	121	97,5	167
430	179	127	—	120,5	97	165
440	177	126	—	120	96	163,5
450	176	125	—	120	95	162
460	174	125	—	—	—	—
470	173	124	—	—	—	—
480	173	123	—	—	—	—
490	171	122	—	—	—	—
500	170	122	—	—	—	—
510	168	120	—	—	—	—
520	168	119	—	—	—	—
530	167	119	—	—	—	—

Окончание таблицы Б.8

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 отношение $R^{**}_{p0,2/20}/240$.

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

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

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

6 Для труб из стали марки 03Х21Н21М4ГБ пределы текучести, приведенные в настоящей таблице, умножают на 0,88.

7 Для поковок из стали марки 03Х21Н21М4ГБ пределы текучести, приведенные в настоящей таблице, умножают на отношение $R^{***}_{p0,2/20}/250$.

---

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

** Предел текучести материала сортового проката $R_{p0,2/20}$ по ГОСТ 5949.

*** Предел текучести материала поковок $R_{p0,2/20}$ по ГОСТ 25054.

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	АМцМ, АМцСМ	АМг2М, АМг3М	АМг5М, АМг6М
20	24	30	50	70	110
50	23	29	47	70	103
100	21	27	43	70	92
150	20	25	40	57	87

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

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	АМцМ, АМцСМ	АМг2М, АМг3М	АМг5М, АМг6М
20	60	60	120	170	260
50	55	56	115	170	257
100	47	50	105	170	252
150	39	39	85	154	210

* 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 Значения 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	81	81	105	163	204
50	74	75	77	101	159	201
100	72	68	70	95	151	186
150	64	63	63	90	143	180
200	57	58	57	87	136	159
250	52	52	52	83	129	140

* Значения $R_{p1,0}$ 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	218	219	340	409	503
50	208	209	209	337	399	481
100	192	194	195	326	384	445
150	178	180	181	316	369	419
200	165	167	167	307	355	370
250	153	155	157	272	342	355
* Значения 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	329	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 — Расчетное значение модуля продольной упругости материалов

Материал	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 и сплавы на железоникелевой основе	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 — Коэффициенты линейного расширения

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
10Х2М1А-А	12,1	12,7	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 сосудов и аппаратов из стали и сплавов на железоникелевой основе

Вид сварного шва и способ сварки	Коэффициент прочности сварных швов для сосудов и аппаратов из стали и сплавов	
	Длина контролируемых швов от общей длины составляет 100 %*	Длина контролируемых швов от общей длины составляет от 10 % до 50 %*
Стыковой двусторонний с полным проплавлением или угловой двусторонний с полным проплавлением таврового соединения, выполняемый автоматической и полуавтоматической сваркой	1,0	0,9
Стыковой с подваркой корня шва с полным проплавлением или угловой двусторонний с полным проплавлением таврового соединения, выполняемый вручную	1,0	0,9
Стыковой шов, 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
Угловой двусторонний с неполным проплавлением таврового соединения	0,8	0,65
Стыковой, выполняемый автоматической и полуавтоматической сваркой с одной стороны с флюсовой или керамической подкладкой	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 с полным проплавлением, односторонний с технологической подкладкой, выполняемые сваркой в защитном газе или плазменной сваркой; угловой двусторонний с полным проплавлением таврового соединения, выполняемый сваркой в защитном газе	0,90
Стыковой односторонний с полным проплавлением, угловой односторонний с полным проплавлением таврового соединения, выполняемые сваркой в защитном газе	0,85
Стыковой двусторонний с полным проплавлением, выполняемый ручной дуговой сваркой	0,80
Стыковой односторонний с неполным проплавлением, угловой с неполным проплавлением таврового соединения, 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 двусторонний с полным проплавлением, стыковой с подваркой корня шва, стыковой односторонний с технологической подкладкой, выполняемые автоматической дуговой сваркой неплавящимся электродом в защитном газе	0,92
Стыковой двусторонний с полным проплавлением, 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 двусторонний с полным проплавлением, 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 прочности сварного шва	
	Длина контролируемых швов от общей длины составляет 100 %*	Длина контролируемых швов от общей длины составляет от 10 % до 50 %*
Стыковой двусторонний с полным проплавлением, выполняемый автоматической сваркой под флюсом, автоматической или ручной сваркой в среде аргона или гелия	0,95	0,85
Угловой двусторонний с полным проплавлением таврового соединения, выполняемый автоматической или ручной сваркой в среде аргона или гелия	0,90	0,80
Угловой двусторонний с неполным проплавлением таврового соединения	0,80	0,65
Стыковой, доступный к сварке с одной стороны в защитной среде аргона или гелия при обеспечении защиты с обратной стороны	0,70	0,60
* Объем контроля определяется техническими требованиями на изготовление.		

УДК 66.023:006.354 МКС 71.120
75.200 NEQ

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

Редактор *Л.С. Зимилова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Е.Р. Ароян*
Компьютерная верстка *Ю.В. Поповой*

Сдано в набор 01.04.2019. Подписано в печать 15.07.2019. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 4,19. Уч.-изд. л. 3,76.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ИД «Юриспруденция», 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, 11.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

Создано в единичном исполнении во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru