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

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ 34233.6— 2017

Сосуды и аппараты

НОРМЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ

Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках

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

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2019

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 РАЗРАБОТАН 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»), Акционерным обществом «Научно-исследовательский и конструкторский институт химического машиностроения» (АО «НИИХИММАШ»)

2 ВНЕСЕН Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 523 «Техника и технологии добычи и переработки нефти и газа»

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
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт
Украина	UA	Минэкономразвития Украины

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 декабря 2017 г. № 1994-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 34233.6—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 Настоящий стандарт подготовлен на основе применения ГОСТ Р 52857.6—2007*

7 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

8 ПЕРЕИЗДАНИЕ. Апрель 2019 г.

---

* Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 декабря 2017 г. № 1994-ст ГОСТ Р 52857.6—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 Условия проверки на малоцикловую прочность 4
6 Упрощенный расчет на малоцикловую прочность 5
7 Уточненный расчет на малоцикловую прочность 10
8 Определение допускаемой амплитуды напряжений и допускаемого числа циклов нагружения 11

Поправка к ГОСТ 34233.6—2017 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках

В каком месте	Напечатано	Должно быть		
Предисловие. Таблица согласования	—	Армения	AM	Минэкономразвития Республики Армения

(ИУС № 6 2019 г.)

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

Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках

Vessels and apparatus.
Norms and methods of strength calculation.
Strength calculation under low-cyclic loads

Дата введения — 2018—08—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает нормы и методы расчета на прочность сосудов и аппаратов, применяемых в химической, нефтегазоперерабатывающей и других смежных отраслях промышленности, работающих в условиях многократных нагрузок от давления, стесненности температурных деформаций и других видов нагрузок при числе циклов нагружения не более 10^6 за весь срок эксплуатации.

Расчетные формулы настоящего стандарта применимы при условии, что расчетные температуры не превышают значений, при которых необходимо учитывать ползучесть материала в соответствии с ГОСТ 34233.1. Если отсутствуют точные данных по этим температурам, то формулы применимы при расчетных температурах, которые не превышают 380 °С для углеродистых сталей, 420 °С — для низколегированных и легированных сталей, 525 °С — для аустенитных сталей, 150 °С — для алюминия и его сплавов, 250 °С — для меди и ее сплавов, 300 °С — для титана и его сплавов.

Настоящий стандарт применяется совместно с ГОСТ 34233.1, ГОСТ 34233.2, ГОСТ 34233.3, ГОСТ 34233.9, ГОСТ 34233.11.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 34233.1 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования

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

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

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

Издание официальное

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 30780 Сосуды и аппараты стальные. Компенсаторы сильфонные и линзовые. Методы расчета на прочность

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и классификаторов на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации (www.easc.by) или по указателям национальных стандартов, издаваемым 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 положение, на которое дана ссылка, то это положение применяется без учета данного изменения. Если документ 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:

A — характеристика материала, МПа;

B — характеристика материала, МПа;

c — сумма прибавок к расчетной толщине стенки обечайки, мм;

C_t — поправочный коэффициент, учитывающий температуру;

D — внутренний диаметр сосуда, мм;

E_t — модуль продольной упругости при расчетной температуре, МПа;

$[F]$ — допускаемое растягивающее или сжимающее усилие, Н;

ΔF_j — размах колебаний усилия, Н;

i — индекс нагрузки;

j — индекс для обозначения цикла нагружения (одного вида);

H_i — нагрузка i-го типа (давление, момент, усилие и др. или их совместное воздействие);

ΔH_i — размах колебаний нагрузки i-го типа (главного и второстепенного);

K_σ — эффективный коэффициент концентрации напряжений;

$[M]$ — допускаемый изгибающий момент, Н·мм;

ΔM_j — размах колебания изгибающего момента, Н·мм;

N_j — число циклов нагружения j-го вида;

$[N_j]$ — допускаемое число циклов нагружения j-го вида;

N — число циклов нагружения;

$[N]$ — допускаемое число циклов нагружения;

n_N — коэффициент запаса прочности по числу циклов;

n_σ — коэффициент запаса прочности по напряжениям;

p — расчетное давление в сосуде в состоянии эксплуатации или испытания, МПа;

$[p]$ — допускаемое внутреннее избыточное или наружное давление, МПа;

Δp_j — размах колебания рабочего давления, МПа;

s — толщина стенки сосуда, мм;

q — коэффициент чувствительности к концентрации напряжений;

$R_{m/t}$ — временное сопротивление материала при расчетной температуре, МПа;

ΔT_{Tj} — размах колебания разности температур двух соседних точек стенки сосуда, °С;

$\Delta T_{\alpha j}$ — размах колебаний расчетных температур в местах соединения двух материалов с различными коэффициентами линейного расширения, °С;

t — расчетная температура, °С;

U — коэффициент линейного суммирования повреждений;

α, α_1, α_2 — температурные коэффициенты линейного расширения материалов, 1/°С;

δ — величина смещения срединных поверхностей листов, мм;

η — коэффициент, учитывающий местные напряжения;

ξ — коэффициент, учитывающий тип сварного соединения;

σ_a — амплитуда напряжений, МПа;

$[\sigma]$ — допускаемое напряжение при расчетной температуре по ГОСТ 34233.1 для рассматриваемого элемента сосуда, МПа;

$[\sigma_a]$ — допускаемая амплитуда напряжений, МПа;

$\Delta\sigma_x$; $\Delta\sigma_y$; $\Delta\sigma_z$; $\Delta\tau_{xy}$; $\Delta\tau_{xz}$; $\Delta\tau_{yz}$ — размахи составляющих напряжений, МПа;

$\Delta\sigma_1$; $\Delta\sigma_2$; $\Delta\sigma_3$ — размахи главных напряжений, МПа.

4 Общие положения

4.1 Расчет на малоцикловую прочность проводят для сосудов и аппаратов, которые отвечают условиям прочности при статической нагрузке.

4.2 Расчетное число циклов нагружения сосуда или аппарата определяют на основании установленного в документации режима эксплуатации и расчетного срока службы.

4.3 Под циклом нагружения понимают последовательность изменения нагрузки, которая заканчивается первоначальным состоянием и затем повторяется.

4.4 Под размахом колебания нагрузки следует понимать разность между максимальным и минимальным значениями нагрузок в течение одного цикла.

$$\Delta p_j = \max\left(p_j; 0\right) - \min\left(p_j; 0\right);$$

$$\Delta F_j = \max\left(F_j; 0\right) - \min\left(F_j; 0\right);$$

$$\Delta M_j = \max\left(M_j; 0\right) - \min\left(M_j; 0\right).$$

В соответствии с режимом эксплуатации размахи колебаний нагрузок могут быть разными. Условно их разделяют на главные (тип 1) и второстепенные (тип 2) (см. рисунок 1).

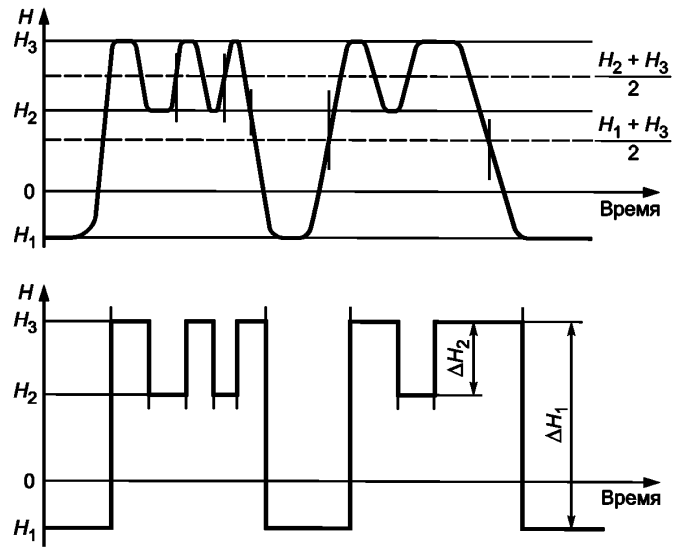


Рисунок 1, лист 1 — Эпюры циклов нагружения

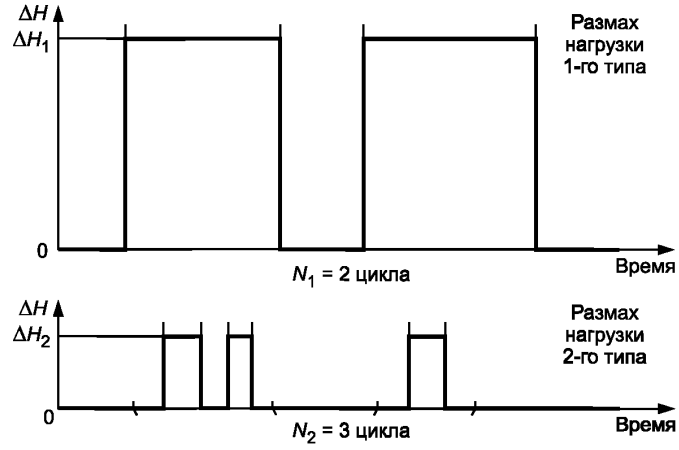


Рисунок 1, лист 2

На рисунке 1 для упрощения расчетов эпюры циклов нагружения представлены в виде прямоугольников, при этом число циклов определяется при постоянном размахе колебания нагрузки.

4.5 При расчете на малоцикловую прочность учитывают следующие циклы нагружения:

- рабочие циклы, которые имеют место между пуском и остановом рассчитываемого сосуда и относятся к нормальной эксплуатации сосуда;
- циклы нагружения при повторяющихся испытаниях давлением;
- циклы дополнительных усилий от воздействия трубопроводов на элементы сосуда или аппарата через крепление;
- циклы нагружения, вызванные стесненностью температурных деформаций при нормальной эксплуатации сосуда.

4.6 При расчете на малоцикловую прочность не учитывают циклы нагружения:

- от ветровых и сейсмических воздействий;
- от нагрузок, возникающих при транспортировании и монтаже;
- от нагрузок, у которых размах колебаний не превышает 15 % допустимого значения, установленного при расчете на статическую прочность (за исключением аустенитных сталей, для которых размах колебаний не должен превышать 25 %). При определении суммы размахов нагрузок от различных воздействий не учитывают второстепенные размахи колебаний нагрузок, которые составляют менее 10 % всех остальных нагрузок;
- температурных нагрузок, при которых размах колебания разности температур в двух соседних точках менее 15 °С. Под соседними точками следует понимать две точки стенки сосуда, расстояние между которыми в меридиональном направлении не превышает $\sqrt{2D \cdot s}$. Для плоских элементов для перепадов температур по толщине обечаек соседние точки определяются как две точки на нормали к поверхности;
- размахов колебаний температуры в месте соединения материалов с различными коэффициентами линейного расширения, которые не превышают 50 °С.

4.7 Размахи колебаний нагрузок определяют на основании рабочих нагрузок.

4.8 Число циклов нагружения определяют по установленной в документации долговечности сосуда или аппарата.

5 Условия проверки на малоцикловую прочность

5.1 Поверочный расчет на малоцикловую прочность выполняют на основе анализа общего и местного напряженного состояния с целью исключения появления трещин. Расчет напряжений проводят в предположении линейно-упругого поведения материала, за исключением особо оговоренных случаев. Полученные амплитуды условных упругих напряжений не должны превышать допускаемые амплитуды напряжений.

5.2 Расчет на малоцикловую прочность по разделам 6 и 7 не проводят, если для всех элементов сосудов выполняются следующие условия:

а) общее число циклов нагружения за весь срок эксплуатации не превышает:

1) 10^3 циклов — для стальных сосудов и аппаратов, сосудов из латуни марок ЛС59-1, Л63, сплавов алюминия марок АМг2 и АМг3, титана и титановых сплавов марок ВТ1-0, ВТ1-00, ОТ4-0, АТ3;

2) $3 \cdot 10^3$ циклов — для сосудов из меди марок М2, М3, М3р и сплава алюминия марки АМцС;

3) $0{,}2 \cdot 10^3$ циклов — для сосудов из латуни марок ЛЖМц59-1-1, ЛО62-1 и сплавов алюминия марок АМг5 и АМг6;

4) 10^6 циклов — для сосудов из алюминия марок А-85, А-8, АД00, АД0М, АД1М;

б) все изменения нагрузок удовлетворяют условиям 4.6;

в) имеются положительные результаты эксплуатации аналогичного сосуда при тех же условиях работы и в течение времени не менее расчетной долговечности.

5.3 Если условия по 5.2 не выполняются, то проводят либо упрощенный, либо уточненный расчет на малоцикловую прочность по разделам 6 и 7.

Допускается не проводить уточненный расчет, если по разделу 6 получены положительные результаты.

6 Упрощенный расчет на малоцикловую прочность

6.1 Условие малоцикловой прочности будет выполнено, если амплитуда напряжений, возникающих при эксплуатации сосуда, не превышает допускаемую амплитуду напряжений для заданного числа циклов.

$$\sigma_a \le [\sigma_a]. \tag{1}$$

Допускаемую амплитуду напряжений определяют по разделу 8.

6.2 При заданной амплитуде напряжений условие малоцикловой прочности будет выполнено, если эксплуатационное число циклов не превышает допускаемое число циклов.

$$N \le [N]. \tag{2}$$

Допускаемое число циклов нагружения определяют по разделу 8.

6.3 Если процесс нагружения состоит из ряда циклов N_j с разными амплитудами напряжений от одной или нескольких типов нагрузок, для всех нагруженных элементов сосуда должно быть выполнено условие

$$U = \sum \frac{N_j}{[N_j]} \le 1. \tag{3}$$

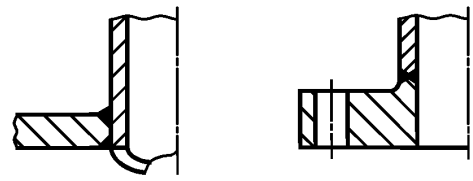
Допускаемое число циклов нагружения j-го вида определяют по разделу 8 в зависимости от амплитуды напряжений для цикла нагружения j-го вида.

6.4 Амплитуду напряжений для цикла нагружения j-го вида вычисляют по формуле

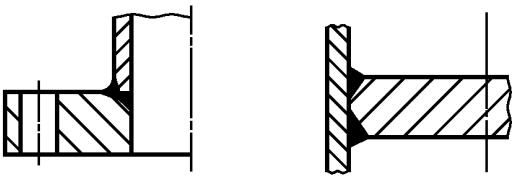
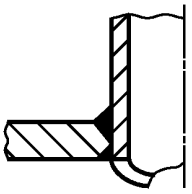
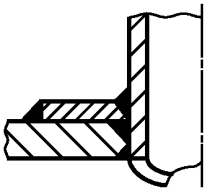
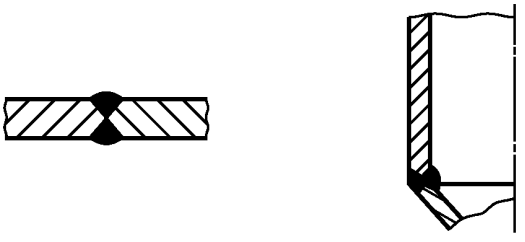
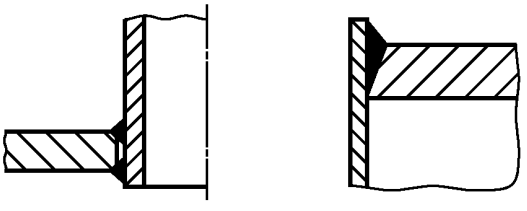
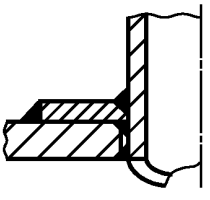
$$\sigma_a = \frac{[\sigma]\xi\eta}{2}\left(\frac{\Delta p_j}{[p]} + \frac{\Delta F_j}{[F]} + \frac{\Delta M_j}{[M]}\right) + \frac{\eta}{2}\left(E\alpha\Delta T_{Tj} + \left|E_1\alpha_1 - E_2\alpha_2\right|\Delta T_{\alpha j}\right), \tag{4}$$

где ξ и η определяют по таблицам 1 и 2. При расчете гладкой обечайки коэффициент ξ принимается только для продольных сварных швов, $[F]$ и $[M]$ определяют по ГОСТ 34233.2 и ГОСТ 34233.3.

Таблица 1 — Определение коэффициента ξ

Тип сварного шва или соединение элементов	Пример сварного шва	ξ
Стыковые сварные швы с полным проваром и плавным переходом		1,0
Тавровые сварные швы с полным проваром и плавным переходом		

Продолжение таблицы 1

Тип сварного шва или соединение элементов	Пример сварного шва	ξ
Бесшовная обечайка		1,0
Сварные швы сосуда с подкладным листом по всей длине		1,2
Стыковые и тавровые сварные швы с полным проваром без плавного перехода		
Сварные швы штуцеров с укрепляющим кольцом с полным проваром		
Стыковой сварной шов с усилением		
Односторонние сварные швы без подкладного листа с непроваром в корне шва		1,5
Сварные швы штуцеров с конструктивным зазором		
Сварные швы подкладных листов		
Сварные швы штуцеров с укрепляющим кольцом и конструктивным зазором		

Окончание таблицы 1

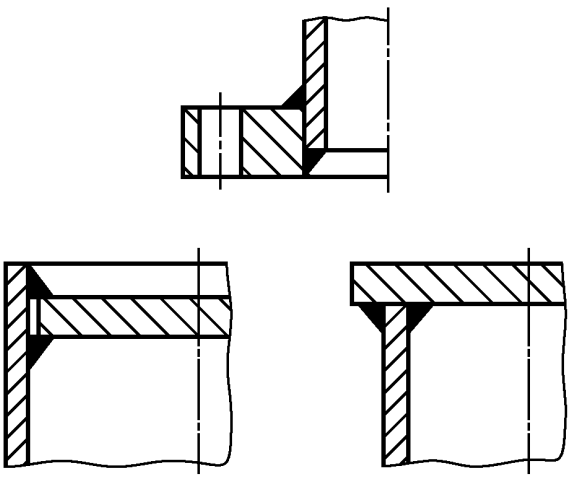
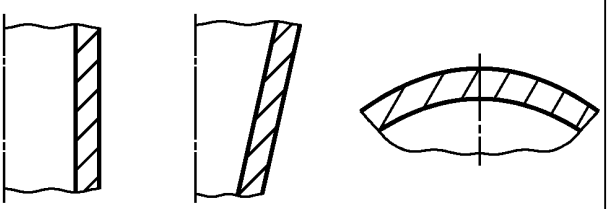
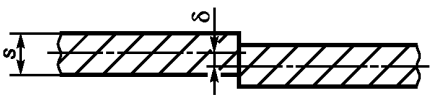
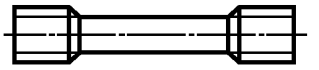
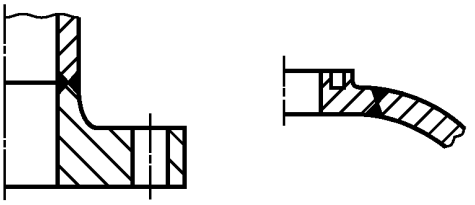
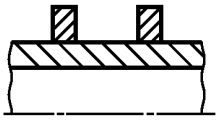
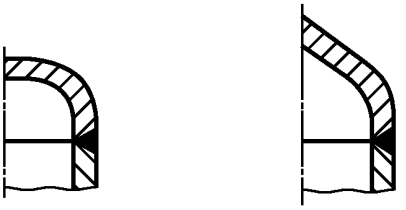
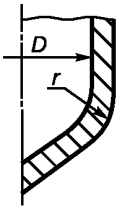
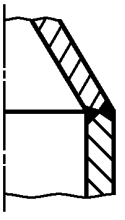
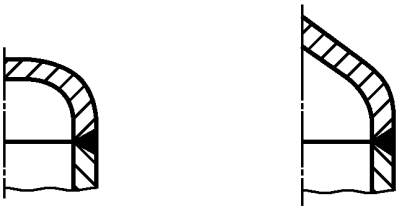
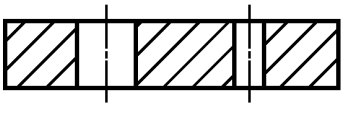
Тип сварного шва или соединение элементов	Пример сварного шва	ξ
Сварные швы плоских приварных фланцев с конструктивным зазором		1,5
Примечание — Значение ξ действительно только в том случае, когда площадь поперечного сечения и момент сопротивления сварного соединения не меньше соответствующих значений в наиболее слабом элементе узла.		

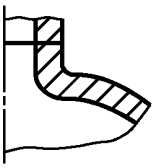
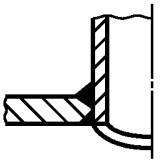
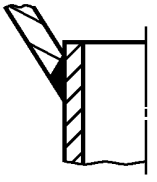
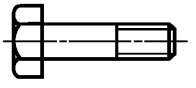
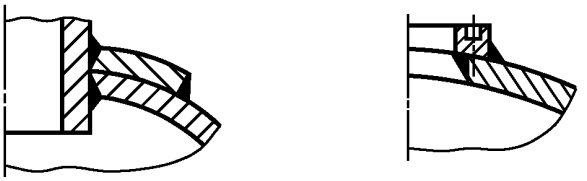
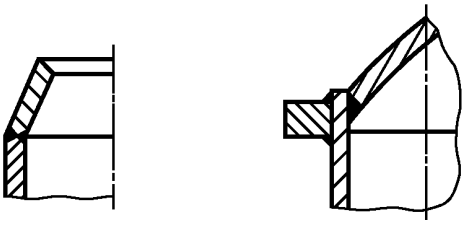
Таблица 2 — Определение коэффициента η

Узел или элемент сосуда	Расчетный элемент	Эскиз узла	η
Гладкая оболочка Сферическая часть выпуклых днищ без отверстий Укрепляющие подкладки	Оболочка		1,5
Смещение кромок сварного шва	Оболочка		$\eta = 1 + 3\frac{\delta}{s}$
Соединение оболочек разной толщины Плоское днище или крышка без отверстий (отверстия для болтов не учитываются) Эллиптическое днище	Более тонкая оболочка Плоское днище, крышка		2,0
Шпильки (R_m < 540 МПа)	Резьба		

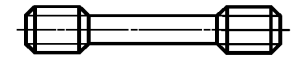
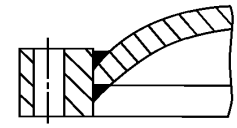
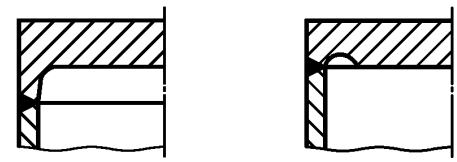
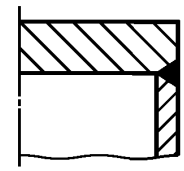
Продолжение таблицы 2

Узел или элемент сосуда	Расчетный элемент	Эскиз узла	η
Приварка встык фланца с плавным переходом	Оболочка и фланец		2,0
Обечайка с кольцом жесткости	Обечайка		
Отбортованная часть торосферического днища и конической обечайки	Торовый переход		2,5
Пологое коническое днище с отбортовкой	Оболочка		$\max\left\{1,5;\ 3,0-9\frac{r}{D}\right\}$
Коническое днище без перехода	Оболочка		3,0
Отбортованная часть торосферического и конического днища	Место соединения днища с обечайкой		
Плоское днище или крышка с отверстием, трубная решетка	Днище, крышка, трубная решетка		

Продолжение таблицы 2

Узел или элемент сосуда	Расчетный элемент	Эскиз узла	η
Отбортованные штуцеры и лазы	Оболочка в месте установки штуцера или лаза		3,0
Оболочка со штуцером без накладного кольца	Оболочка в месте установки штуцера		
Соединение конической обечайки с цилиндрической обечайкой меньшего диаметра	Конический переход		
Приварные плоские фланцы к оболочке	Оболочка и фланец		
Болты (R_m < 540 МПа)	Резьба		
Оболочка со штуцером и укрепляющим кольцом	Оболочка в месте установки штуцера		4,0
Угловые соединения конической или сферической обечайки	Переход		
Соединения неотбортованной конической обечайки с цилиндрической	Место соединения обечаек		

Окончание таблицы 2

Узел или элемент сосуда	Расчетный элемент	Эскиз узла	η
Болты и шпильки ($R_m \geq 540$ МПа)	Резьба		4,0
Сферическая крышка с кольцом	Сферический сегмент		
Соединение с обечайкой плоского днища с отбортовкой или выточкой	Цилиндрическая обечайка и плоское днище без отверстия (определяющим является элемент с более низким допускаемым давлением)		
Соединение с обечайкой приварных плоских днищ остальных типов	Цилиндрическая обечайка и плоское днище без отверстия (определяющим является элемент с более низким допускаемым давлением)		5,0

7 Уточненный расчет на малоцикловую прочность

7.1 Уточненный расчет на малоцикловую прочность основан на определении напряжений для линейно-упругого материала по теории пластин, оболочек, колец и балок.

При расчете определяют главные напряжения в наиболее нагруженных узлах. Для каждого вида нагрузки рассчитывают размах отдельных составляющих напряжений $\Delta\sigma_x$; $\Delta\sigma_y$; $\Delta\sigma_z$; $\Delta\tau_{xy}$; $\Delta\tau_{xz}$; $\Delta\tau_{yz}$ как разность напряжений обоих нагруженных состояний, входящих в цикл. Размах главных напряжений $\Delta\sigma_1$; $\Delta\sigma_2$; $\Delta\sigma_3$ рассчитывают как главные напряжения при действии в выбранной системе координат напряжений, равных размахам отдельных составляющих напряжений.

Определение составляющих напряжений в различных узлах сосуда приведено в ГОСТ 34233.4, ГОСТ 34233.5, ГОСТ 34233.7, ГОСТ 34233.9, ГОСТ 34233.11, ГОСТ 30780.

Составляющие напряжений можно определять по специальным методикам или экспериментальными методами.

Амплитуду напряжений для каждого цикла вычисляют по формуле

$$\sigma_a = \frac{K_\sigma}{2}\max\left\{\left|\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_2\right|; \left|\Delta\sigma_2 - \Delta\sigma_3\right|; \left|\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3\right|\right\}. \quad (5)$$

Допускается амплитуду напряжений вычислять по формуле

$$\sigma_a = \frac{K_\sigma}{2}\sqrt{\Delta\sigma_x^2 + \Delta\sigma_y^2 + \Delta\sigma_z^2 - \Delta\sigma_x\Delta\sigma_y - \Delta\sigma_x\Delta\sigma_z - \Delta\sigma_y\Delta\sigma_z + 3\left(\Delta\tau_{xy}^2 + \Delta\tau_{xz}^2 + \Delta\tau_{yz}^2\right)} \quad (6)$$

или

$$\sigma_a = \frac{K_\sigma}{2}\sqrt{\left(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_2\right)^2 + \left(\Delta\sigma_2 - \Delta\sigma_3\right)^2 + \left(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3\right)^2}. \quad (7)$$

Для плоского напряженного состояния при главных напряжениях $\Delta\sigma_1$ и $\Delta\sigma_2$ ($\Delta\sigma_3 = 0$) амплитуда напряжений равна

$$\sigma_a = \frac{K_\sigma}{2}\max\left\{\left|\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_2\right|; \left|\Delta\sigma_2\right|; \left|\Delta\sigma_1\right|\right\} \quad (8)$$

или допускается вычислять амплитуду напряжений по формуле

$$\sigma_a = \frac{K_\sigma}{2}\sqrt{\Delta\sigma_1^2 + \Delta\sigma_2^2 - \Delta\sigma_1\Delta\sigma_2}. \quad (9)$$

7.2 Эффективный коэффициент концентрации напряжений K_σ определяют по формуле

$$K_\sigma = 1 + q\left(\alpha_\sigma - 1\right), \quad (10)$$

где $0 \le q \le 1$ — коэффициент чувствительности к концентрации напряжений;

α_σ — теоретический коэффициент концентрации.

q и α_σ определяют в зависимости от применяемых материалов и концентрации напряжений.

При отсутствии точных данных

$$K_\sigma = \frac{\rho\xi}{\varphi}, \quad (11)$$

где ξ определяют по таблице 1.

$\rho = \begin{cases} 1{,}0 & \text{— для шлифованных поверхностей сварных швов;} \\ 1{,}1 & \text{— для необработанных поверхностей сварных швов;} \end{cases}$

φ — коэффициент прочности сварных швов определяют по ГОСТ 34233.1.

7.3 При известных значениях амплитуды напряжений либо проверяют условие прочности по формуле (1), либо определяют допускаемое число циклов по формуле (13) и выполнение условий прочности по формуле (2).

Если сосуд работает при различных режимах нагружения, то определяют допускаемое число циклов для каждого вида нагружения $[N_j]$ и выполнение условий прочности по формуле (3).

8 Определение допускаемой амплитуды напряжений и допускаемого числа циклов нагружения

8.1 Допускаемую амплитуду напряжений определяют по графикам, приведенным на рисунках 2—10, или вычисляют по формуле

$$\left[\sigma_a\right] = C_t\frac{A}{\sqrt{n_N N}} + \frac{B}{n_\sigma}. \quad (12)$$

8.2 Допускаемое число циклов нагружения определяют по графикам, приведенным на рисунках 2—10, или вычисляют по формуле

$$[N] = \frac{1}{n_N}\left[\frac{AC_t}{\sigma_a - \dfrac{B}{n_\sigma}}\right]^2. \quad (13)$$

Если $\sigma_a \le \dfrac{B}{n_\sigma}$, то число циклов соответствующего вида не ограничивают и их влияние на прочность не учитывают.

8.3 A, B и C_t определяют по таблице 3.

8.4 Коэффициенты запаса прочности по числу циклов и коэффициенты запаса прочности по напряжениям должны соответствовать:

- для стальных сосудов — $n_N = 10$; $n_\sigma = 2{,}0$;
- для сосудов из алюминия, меди и их сплавов — $n_N = 20$; $n_\sigma = 2{,}0$;
- для сосудов из титана и его сплавов — $n_N = 30$; $n_\sigma = 2{,}5$.

8.5 В случае соединения материалов с разными механическими характеристиками определяющим является материал, дающий меньшее значение $[\sigma_a]$ и $[N]$.

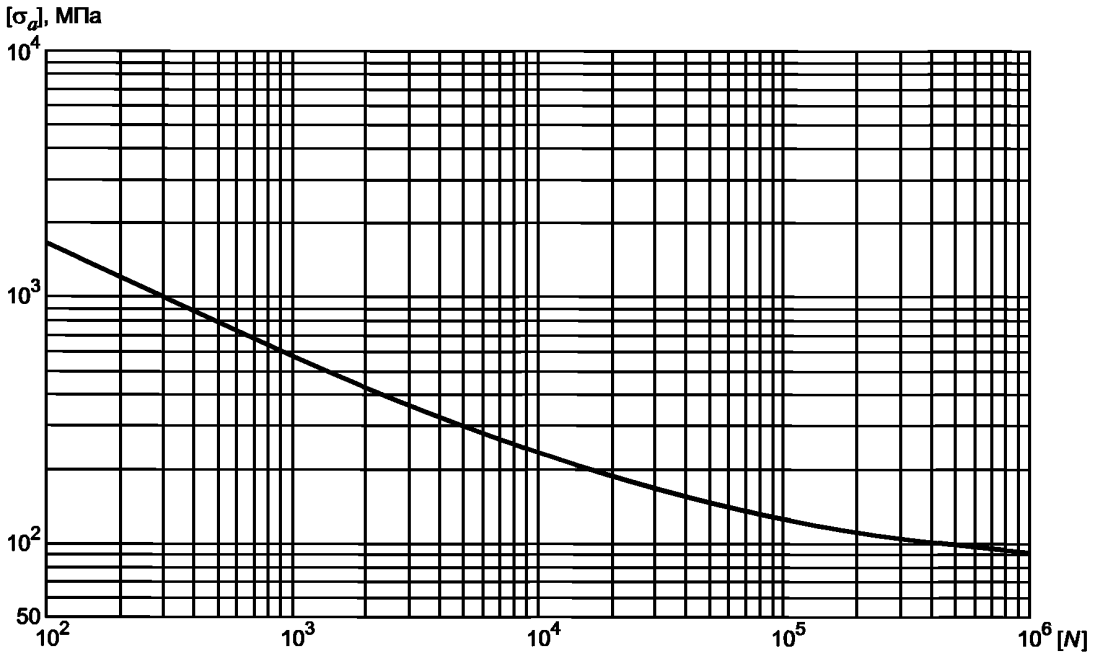


Рисунок 2 — Расчетная кривая усталости для углеродистых сталей
(при $A = 0{,}6 \cdot 10^5$ МПа, B = 150 МПа, T = 380 °С)

Примечание — График, приведенный на рисунке 2, может быть использован для определения допускаемой амплитуды напряжений и допускаемого числа циклов нагружения для углеродистых сталей с плакировкой из стали 08Х13 при T не более 380 °С.

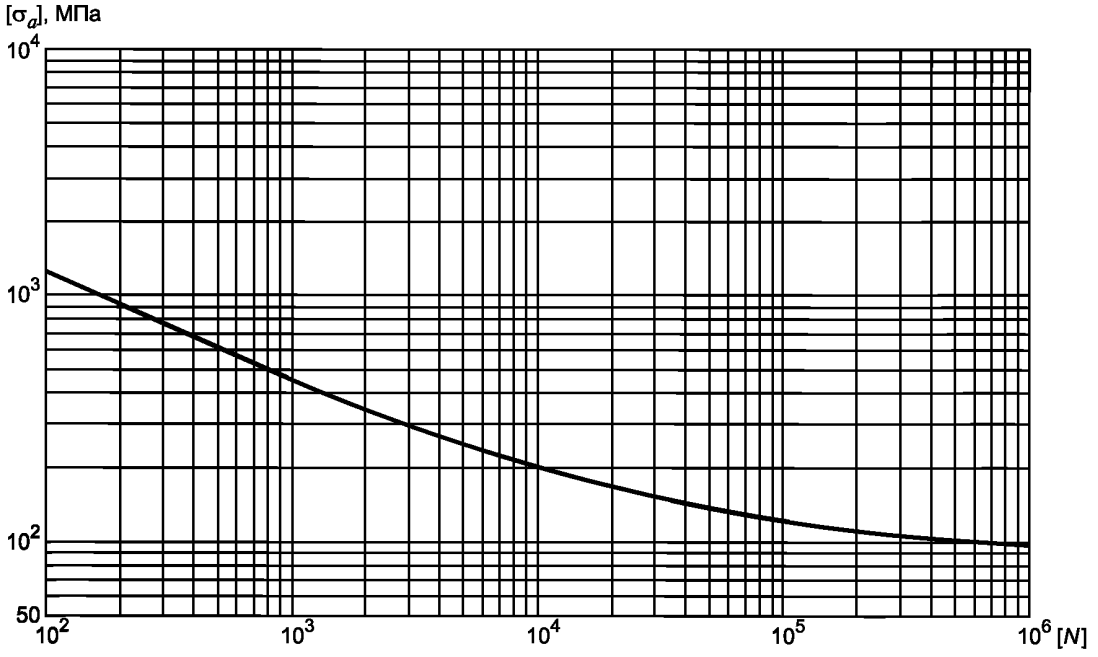


Рисунок 3 — Расчетная кривая усталости для низколегированных и легированных сталей
(при $A = 0{,}45 \cdot 10^5$ МПа, B = 170 МПа, T = 420 °С)

Примечание — График, приведенный на рисунке 3, может быть использован для определения допускаемой амплитуды напряжений и допускаемого числа циклов нагружения для низколегированных сталей с плакировкой из стали 08Х13 при T не более 420 °С.

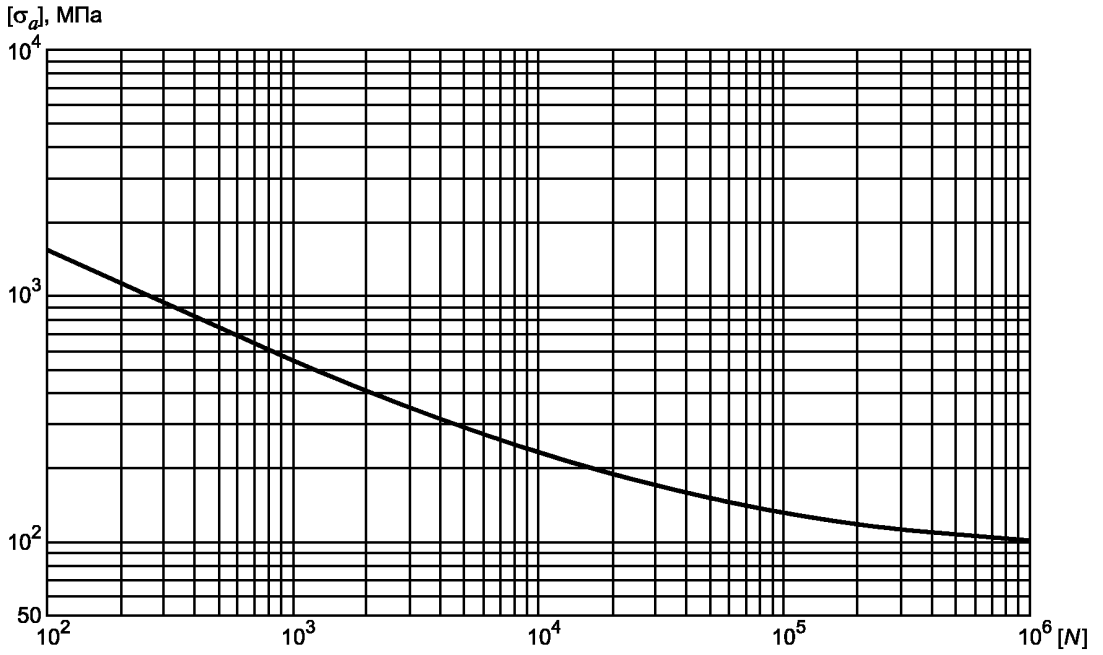


Рисунок 4 — Расчетная кривая усталости для аустенитных сталей
(при $A = 0{,}6 \cdot 10^5$ МПа, $B = 170$ МПа, $T = 525$ °С)

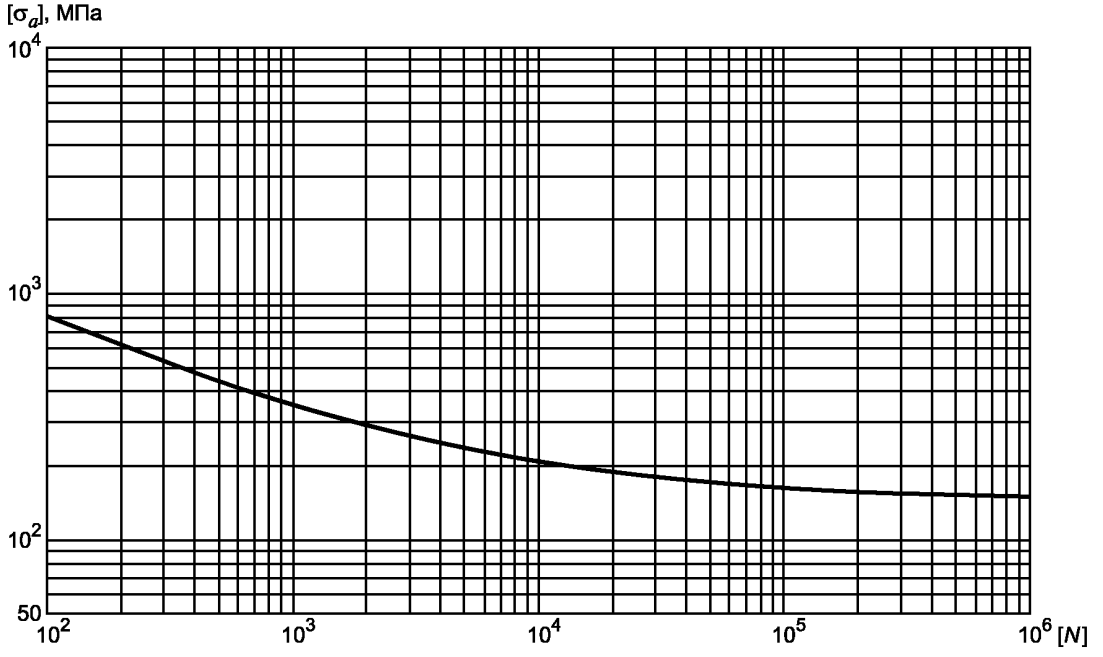
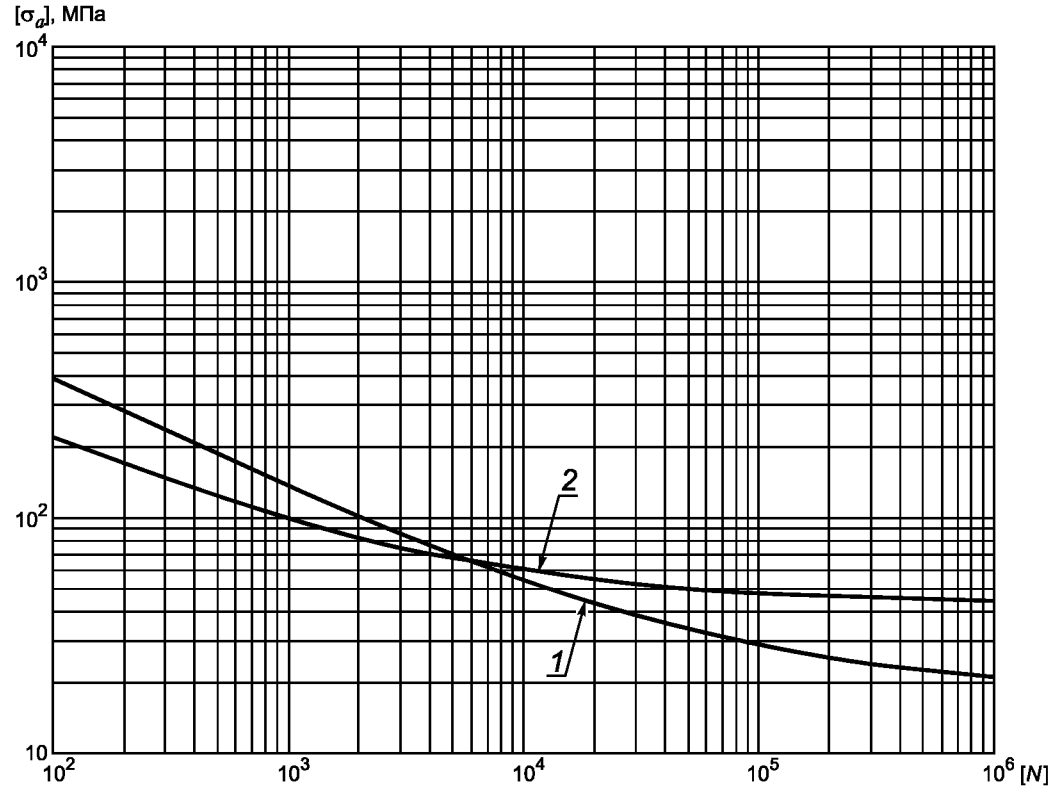
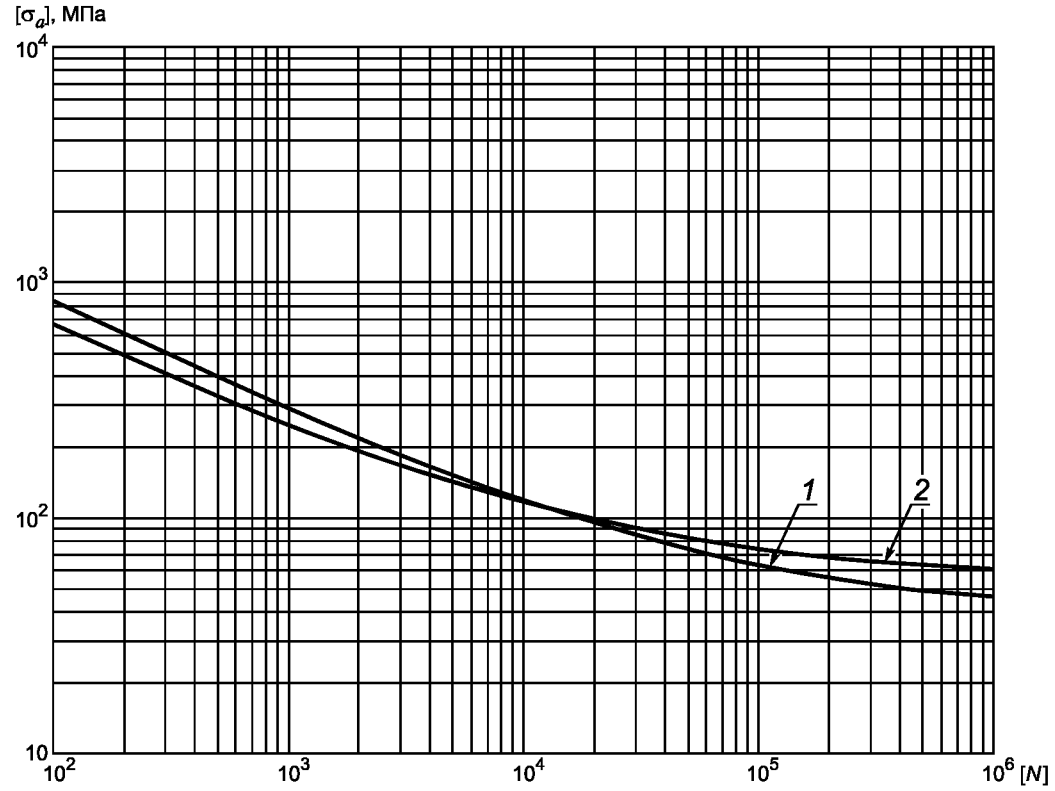


Рисунок 5 — Расчетная кривая усталости для крепежных ($R_m \geq 700$ МПа) сталей
(при $A = 0{,}25 \cdot 10^5$ МПа, $B = 280$ МПа, $T = 350$ °С)



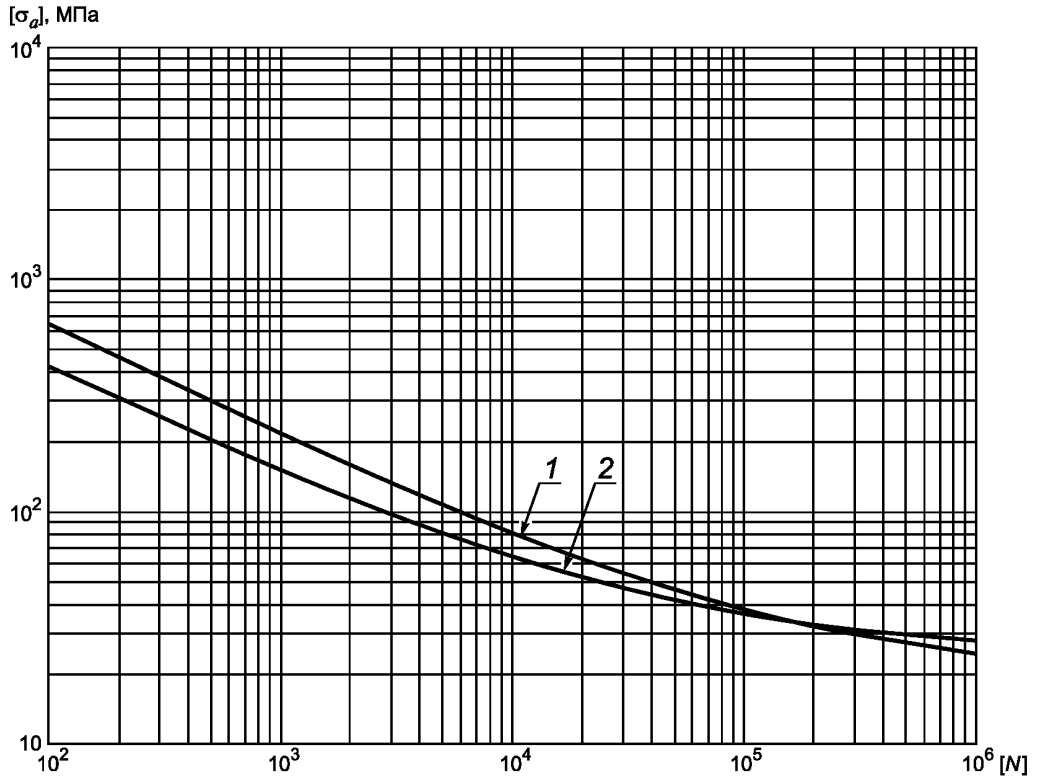
1 — АМцС, АМг2, АМг3 при $A = 0{,}18 \cdot 10^5$ МПа, $B = 34$ МПа, $T = 150$ °С; *2* — АМг5, АМг6 при $A = 0{,}86 \cdot 10^4$ МПа, $B = 84$ МПа, $T = 150$ °С

Рисунок 6 — Расчетная кривая усталости для сплавов алюминия



1 — М2, М3, М3р при $A = 0{,}39 \cdot 10^5$ МПа, $B = 76{,}5$ МПа, $T = 250$ °С;
2 — ЛС59-1-1, Л63, ЛО62-1, ЛЖМц при $A = 0{,}3 \cdot 10^5$ МПа, $B = 108{,}8$ МПа, $T = 250$ °С

Рисунок 7 — Расчетная кривая усталости для сплавов меди



1 — ВТ1-0, ВТ1-00 при $A = 0{,}46 \cdot 10^5$ МПа, $B = 45{,}2$ МПа, $T = 300$ °С; *2* — ОТ4-0 при $A = 0{,}33 \cdot 10^5$ МПа, $B = 58{,}8$ МПа, $T = 400$ °С

Рисунок 8 — Расчетная кривая усталости для сплавов титана

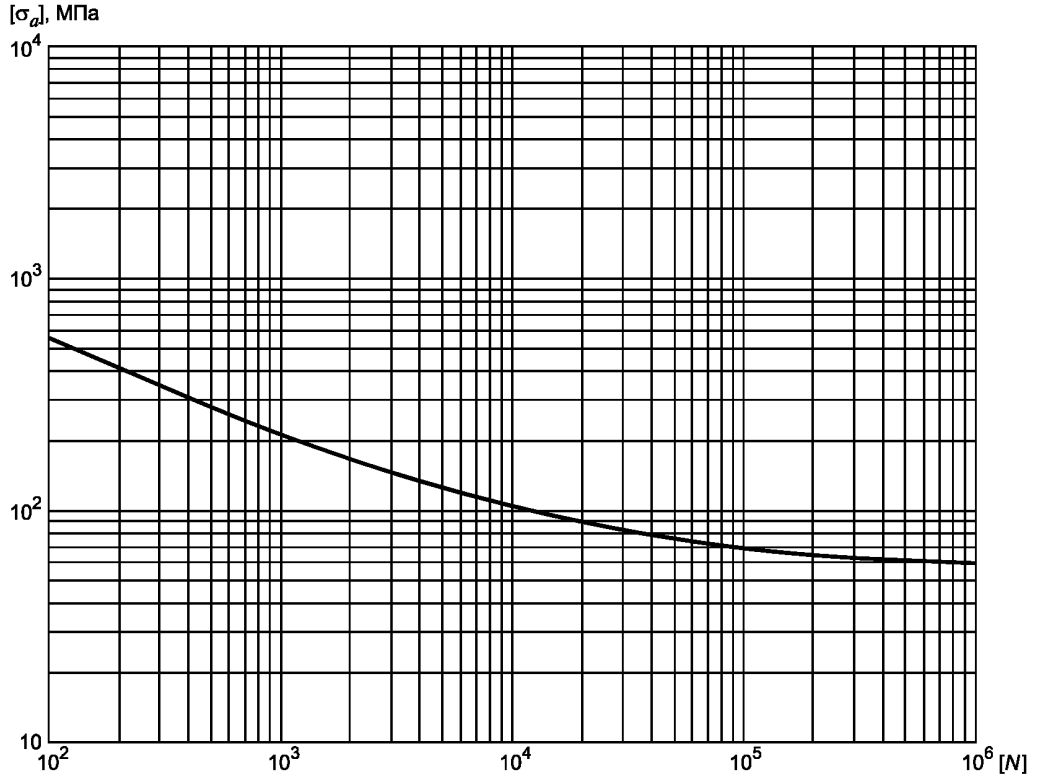


Рисунок 9 — Расчетная кривая усталости для сплава титана АТ3
(при $A = 0{,}31 \cdot 10^5$ МПа, $B = 133{,}6$ МПа, $T = 350$ °С)

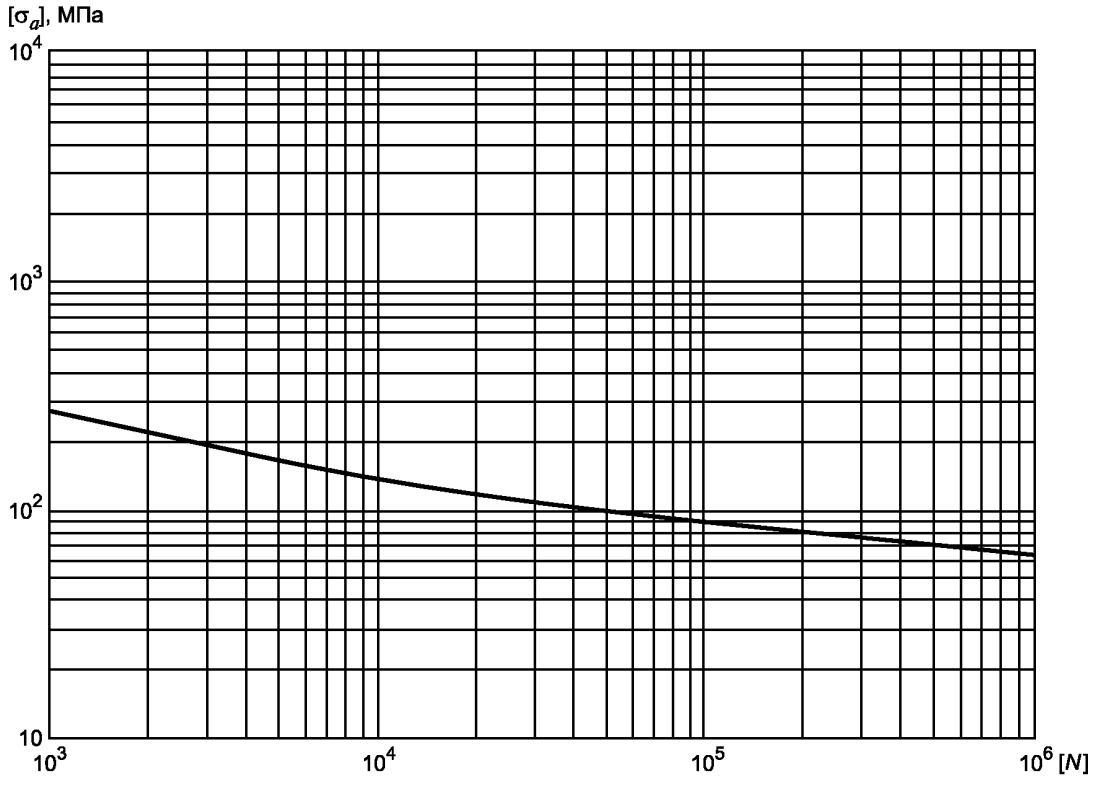


Рисунок 10 — Расчетная кривая усталости для углеродистых и низколегированных сталей с плакировкой из аустенитных сталей (при температуре не более 380 °С)

Таблица 3 — Характеристики A и B, коэффициент C_t

Материал	A, МПа	B, МПа	C_t, (t в °С)
Углеродистые стали	$0{,}60 \cdot 10^5$	$0{,}4R_{m/t}$	$\frac{2300 - t}{2300}$
Низколегированные и легированные стали	$0{,}45 \cdot 10^5$	$0{,}4R_{m/t}$	$\frac{2300 - t}{2300}$
Аустенитные стали	$0{,}60 \cdot 10^5$	$0{,}4R_{m/t}$	$\frac{2300 - t}{2300}$
Высокопрочные стали для болтов $R_m > 700$ МПа	$0{,}25 \cdot 10^5$	$0{,}4R_{m/t}$	$\frac{2300 - t}{2300}$
Сплавы алюминия марок АМцС; АМг2; АМг3	$0{,}18 \cdot 10^5$	$0{,}4R_{m/t}$	$\frac{2300 - t}{2300}$
Сплавы алюминия марок АМг5; АМг6	$0{,}86 \cdot 10^4$	$0{,}4R_{m/t}$	$\frac{2300 - t}{2300}$
Медь марок М2; М3; М3р	$0{,}39 \cdot 10^5$	$0{,}5R_{m/t}$	$\frac{3200 - t}{3200}$
Медные сплавы марок ЛС59-1; Л63; ЛО62-1; ЛЖМц	$0{,}30 \cdot 10^5$	$0{,}4R_{m/t}$	$\frac{3200 - t}{3200}$

Окончание таблицы 3

Материал	A, МПа	B, МПа	C_t, (t в °С)
Титан марок ВТ1-0; ВТ1-00	$0{,}46 \cdot 10^5$	$0{,}4R_{m/t}$	$\frac{1200 - t}{1200}$
Титановый сплав марки ОТ4-0	$0{,}33 \cdot 10^5$	$0{,}4R_{m/t}$	$\frac{1200 - t}{1200}$
Титановый сплав марки АТ3	$0{,}31 \cdot 10^5$	$0{,}4R_{m/t}$	$\frac{3200 - t}{3200}$

УДК 66.023:006.354 МКС 71.120
75.200 NEQ

Ключевые слова: сосуды и аппараты, нормы и методы расчета на прочность, малоцикловые нагрузки

Редактор *Е.В. Лукьянова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *О.В. Лазарева*
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Сдано в набор 04.04.2019. Подписано в печать 27.05.2019. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,52.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

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