РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

КОТЛЫ СТАЦИОНАРНЫЕ ПАРОВЫЕ И ВОДОГРЕЙНЫЕ И ТРУБОПРОВОДЫ ПАРА И ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ

МЕТОД ОЦЕНКИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПРИ МАЛОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ И ПОЛЗУЧЕСТИ

РТМ 108.031.105—77

Издание официальное

gost.e-ecolog.ru

РАЗРАБОТАН Научно-производственным объединением по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И. И. Ползунова (НПО ЦКТИ)

Генеральный директор	Н. М. МАРКОВ
Заведующий базовым отраслевым отделом стандартизации	В. Л. МАРКОВ
Заведующий отделом прочности	В. С. ПОСТОЕВ
Руководители темы:	Б. В. ЗВЕРЬКОВ, И. А. ДАНЮШЕВСКИЙ
Исполнитель	Т. И. ТАТУЕВА

Научно-производственным объединением по технологии энергетического машиностроения (ЦНИИТМАШ)

Генеральный директор	Н. Н. ЗОРЕВ
Заведующий отделом	Л. П. ТРУСОВ
Руководители темы:	Г. А. ТУЛЯКОВ, В. В. ГРИНЕВСКИЙ, Б. М. СОКОЛЯНСКИЙ

Производственным объединением «Красный котельщик»

Генеральный директор	А. А. ПАРШИН
Главный конструктор	Л. М. ХРИСТИЧ
Руководитель темы	В. Б. НАДЛЕР

ВНЕСЕН Научно-производственным объединением по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И. И. Ползунова (НПО ЦКТИ)

Генеральный директор	Н. М. МАРКОВ

ПОДГОТОВЛЕН К УТВЕРЖДЕНИЮ Техническим управлением Министерства энергетического машиностроения

Начальник Технического управления	В. П. ПЛАСТОВ
Начальник отдела опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ по котлостроению	В. В. ЛЕБЕДЕВ

СОГЛАСОВАНО с Государственным комитетом по надзору за безопасным ведением работ в промышленности и горному надзору при Совете Министров СССР (Госгортехнадзор СССР)

Заместитель начальника управления по котлонадзору и подъемным сооружениям Госгортехнадзора СССР	А. И. МУРАЧЕВ

УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Указанием Министерства энергетического машиностроения от 03.11.77 № ВВ-002/8339

Заместитель министра	В. М. ВЕЛИЧКО

УДК 621.18:539.4 Группа Е21

РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

КОТЛЫ СТАЦИОНАРНЫЕ ПАРОВЫЕ И ВОДОГРЕЙНЫЕ И ТРУБОПРОВОДЫ ПАРА И ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ

МЕТОД ОЦЕНКИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПРИ МАЛОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ И ПОЛЗУЧЕСТИ

РТМ 108.031.105—77

Введен впервые

Указанием Министерства энергетического машиностроения от 03.11.77 № ВВ-002/8339 введен как рекомендуемый.

Настоящий руководящий технический материал (РТМ) распространяется на стационарные паровые и водогрейные котлы и трубопроводы пара и горячей воды и устанавливает методику оценки долговечности при малоцикловой усталости и ползучести деталей котлов и трубопроводов в соответствии с требованиями ОСТ 108.031.02—75.

1. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

σ_a — расчетная амплитуда напряжений, кгс/мм^2;

$[\sigma_a]$ — допускаемая амплитуда напряжений, определенная по графикам долговечности, кгс/мм^2;

$[\sigma_a^*]$ — допускаемая амплитуда напряжений, кгс/мм^2;

σ_i — главные условно-упругие напряжения в расчетной точке детали ($i=1, 2, 3$), кгс/мм^2;

$\sigma_{эij}$ — эквивалентные напряжения ($i, j=1, 2, 3$), кгс/мм^2;

$\Delta\sigma_{эij}$ — размах эквивалентных напряжений, кгс/мм^2;

$[\sigma]_{max}$, $[\sigma]_{min}$ — допускаемые напряжения по ОСТ 108.031.02—75, соответствующие температуре, при которой достигаются максимальные и минимальные эквивалентные напряжения, кгс/мм^2;

E_{max}, E_{min} — модуль упругости, соответствующий температуре, при которой достигаются максимальные и минимальные эквивалентные напряжения, кгс/см^2;

Издание официальное Перепечатка воспрещена

E^t — модуль упругости, соответствующий максимальной температуре цикла, кгс/мм²;

N — число циклов нагружения;

N_i — число циклов нагружения данного типа;

$[N]$ — допускаемое число циклов по расчетным кривым малоцикловой усталости;

$[N^*]$ — допускаемое число циклов;

σ_c — расчетное напряжение с учетом ползучести, кгс/мм²;

$\sigma^t_{д.п\,10^4}$, $\sigma^t_{д.п\,10^5}$, $\sigma^t_{д.п\,2\cdot10^5}$ — условный предел длительной прочности при растяжении (напряжение, вызывающее разрушение при расчетной температуре соответственно через 10^4, 10^5 и $2\cdot10^5$ ч), кгс/мм²;

$[\sigma]$ — номинальное допускаемое напряжение при расчете детали только на действие давления, кгс/мм²;

D — параметр, характеризующий допускаемое повреждение от ползучести и усталости;

$П_\sigma$, $П_N$ — коэффициенты, учитывающие влияние ползучести на допускаемую амплитуду напряжений и допускаемое число циклов;

m — показатель степени в уравнении длительной прочности стали;

n — количество различных типов циклов;

l — количество различных номинальных режимов;

τ_i — длительность работы элемента при данных номинальных параметрах нагружения, включая время пуска и останова, ч;

τ — суммарное расчетное время работы элемента, ч;

$\sigma^в_э$ — эквивалентное напряжение от весовых нагрузок и внутреннего давления по ОСТ 108.031.02—75, кгс/мм²;

$\sigma^{в,\,ск}_э$ — эквивалентное напряжение от весовых нагрузок, самокомпенсации и внутреннего давления по ОСТ 108.031.02—75, кгс/см².

2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. Расчет на малоцикловую усталость является поверочным и выполняется после выбора основных размеров детали в соответствии с ОСТ 108.031.02—75.

2.2. Поверочный расчет производят с учетом всех нагрузок (основных и дополнительных) для всех расчетных режимов работы.

2.3. Характеристики используемых материалов (допущенных к применению Госгортехнадзором СССР) и качество изготовления должны удовлетворять требованиям соответствующих технических условий.

2.4. Методика применима для расчета вновь проектируемых деталей, работающих при малоцикловой усталости, во всем диапазоне изменения рабочих температур. Уровень температур, обуславливающий необходимость учета ползучести, устанавливается в соответствии с ОСТ 108.031.02—75.

3. ПЕРЕМЕННЫЕ НАГРУЗКИ

3.1. За цикл нагружения принимается повторяющееся изменение нагрузки от первоначальной до максимальной (минимальной) и возврат к первоначальной нагрузке.

Тип цикла характеризуется расчетной амплитудой напряжения σ_a, числом нагружений и максимальной температурой.

3.2. При расчете на усталость учитываются следующие нагрузки:

изменение давления при пуске — останове котла;

колебания рабочего давления при эксплуатации (кроме пуска — останова);

дополнительные внешние нагрузки и их изменение при эксплуатации (весовые нагрузки, наддув и т. п.);

температурные перепады при пуске — останове котла, включая компенсационные нагрузки при тепловых расширениях трубопроводов;

дополнительные перепады температуры, вызываемые колебаниями температуры среды или теплового потока при эксплуатации.

4. ПЕРЕМЕННЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ

4.1. Расчет на усталость основывается на условно-упругих напряжениях, действующих в расчетной точке детали. Расчет производится для всех основных этапов эксплуатации: пуска, рабочего режима, останова и т. д. в точках, где ожидается наибольший размах напряжений.

4.2. Для каждой расчетной точки определяют три главных нормальных условно-упругих напряжений (с учетом местных концентраторов напряжений), представляющих собой алгебраическую сумму действующих в одном направлении напряжений от всех приложенных нагрузок, σ_1, σ_2, σ_3. Составляющие главных нормальных напряжений определяются теоретическим или экспериментальным путем.

В случае отсутствия точного значения местных напряжений допускается принимать коэффициент концентрации окружных напряжений от действия внутреннего давления на кромках отверстий в цилиндрических элементах равным 3,0, в сферических и выпуклых днищах 2,2, а коэффициент концентрации окружных и осевых напряжений от действия температурных градиентов для цилиндрических и сферических деталей равным 2,0. Для гибов коэффициент концентрации окружных напряжений от внутреннего давления

в зонах нейтральной (внутренняя поверхность трубы) и внешней образующих (наружная поверхность трубы) допускается принимать равным 3,5 при $s/D_н > 0{,}12$; 4,0 при $0{,}08 < s/D_н \leqslant 0{,}12$; 4,7 при $0{,}05 \leqslant s/D_н \leqslant 0{,}08$.

Для цилиндрических деталей

$$\sigma_1 = \sigma_\varphi; \quad \sigma_2 = \sigma_z; \quad \sigma_3 = \sigma_r;$$

при наличии крутящего момента

$$\sigma_1 = 0{,}5\left[\sigma_\varphi + \sigma_z + \sqrt{(\sigma_\varphi - \sigma_z)^2 + 4\tau^2}\right];$$

$$\sigma_2 = 0{,}5\left[\sigma_\varphi + \sigma_z - \sqrt{(\sigma_\varphi - \sigma_z)^2 + 4\tau^2}\right];$$

$$\sigma_3 = \sigma_r.$$

4.3. По значениям главных условно-упругих напряжений определяют эквивалентные напряжения для расчетных точек детали в заданные моменты времени как алгебраическую разность главных нормальных напряжений:

$$\sigma_{э\,12} = \sigma_1 - \sigma_2;$$

$$\sigma_{э\,23} = \sigma_2 - \sigma_3;$$

$$\sigma_{э\,13} = \sigma_1 - \sigma_3.$$

5. РАЗМАХ И АМПЛИТУДА ПЕРЕМЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

5.1. Для каждого цикла нагружения существуют режимы, при которых принимают максимальные и минимальные значения величины:

$$\frac{\sigma_{эij\,max}}{E_{max}}; \qquad \frac{\sigma_{эij\,min}}{E_{min}}.$$

В расчет вводится размах условно-упругих эквивалентных напряжений $\Delta\sigma_{эij}$, равный наибольшему значению алгебраической разности:

$$\Delta\sigma_{э\,12} = E^t\left(\frac{\sigma_{э12\,max}}{E_{max}} - \frac{\sigma_{э\,12\,min}}{E_{min}}\right);$$

$$\Delta\sigma_{э\,23} = E^t\left(\frac{\sigma_{э\,23\,max}}{E_{max}} - \frac{\sigma_{э\,23\,min}}{E_{min}}\right);$$

$$\Delta\sigma_{э\,13} = E^t\left(\frac{\sigma_{э\,13\,max}}{E_{max}} - \frac{\sigma_{э\,13\,min}}{E_{min}}\right).$$

5.2. Расчетная амплитуда напряжений определяется по следующим формулам (берется наибольшая из величин):

$$\sigma_a = \frac{\Delta\sigma_{эij}}{2};$$

$$\sigma_a = \frac{\Delta\sigma_{эij}}{2} \frac{\Delta\sigma_{эij}}{1{,}5\,([\sigma]_{max} + [\sigma]_{min})}.$$

5.3. Если деталь подвергается действию циклов разного типа, то величина расчетной амплитуды σ_a определяется отдельно для каждого типа цикла.

6. ДОПУСКАЕМАЯ АМПЛИТУДА ПЕРЕМЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

6.1. Допускаемое число циклов $[N^*]$ для заданной амплитуды переменных напряжений σ_a определяется по формуле

$$[N^*] = \frac{[N]}{\Pi_N};$$

допускаемая амплитуда переменных напряжений $[\sigma_a^*]$ для заданного числа циклов N определяется по формуле

$$[\sigma_a^*] = \frac{[\sigma_a]}{\Pi_\sigma}.$$

6.2. Допускаемая амплитуда переменных напряжений $[\sigma_a]$ для заданного числа циклов N или допускаемое число циклов $[N]$ для заданной амплитуды переменных напряжений σ_a определяется по кривым малоцикловой усталости, приведенным на графиках (черт. 1, 2, 3), для максимальной температуры цикла.

Расчетные кривые были откорректированы с целью учета максимального влияния среднего напряжения (асимметрии цикла). Поскольку при испытаниях, по результатам которых построены усталостные кривые, не учитывалось влияние коррозии при нарушениях водного режима и консервации котлов и трубопроводов, влияние этих факторов должно учитываться дополнительно.

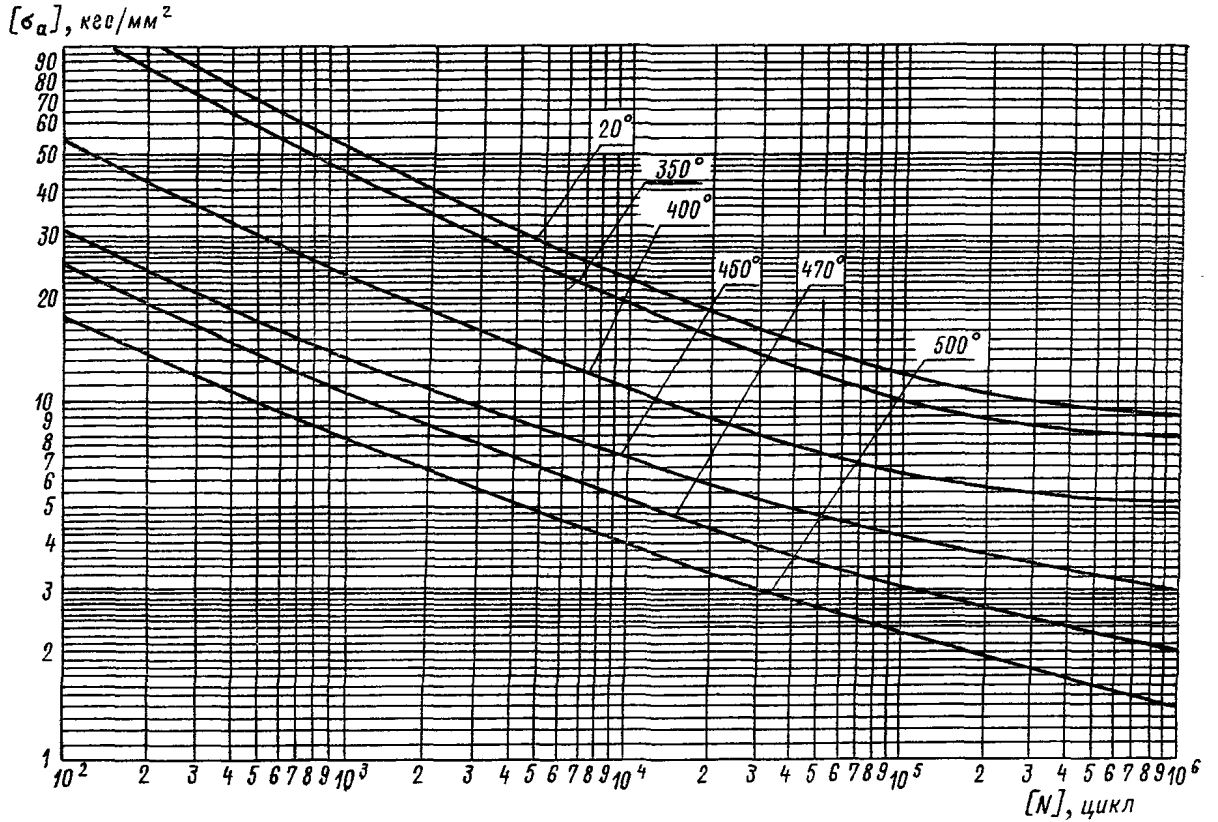
6.3. При температуре металла, отличающейся от приведенной на графиках черт. 1, 2, 3, допускаемое напряжение $[\sigma_a]$ или допускаемое число циклов $[N]$ определяется линейной интерполяцией. Экстраполяция кривых не допускается.

6.4. Значения коэффициентов Π_N и Π_σ, учитывающих повреждаемость, вызываемую ползучестью, вычисляются для углеродистых сталей при температурах, превышающих 400°С, а также для легированных сталей при температурах, превышающих 450°С, по следующим формулам:

$$\Pi_N = \frac{1}{D - \left(1{,}25\,\frac{\sigma_c}{\sigma^t_{д.п}}\right)^m};$$

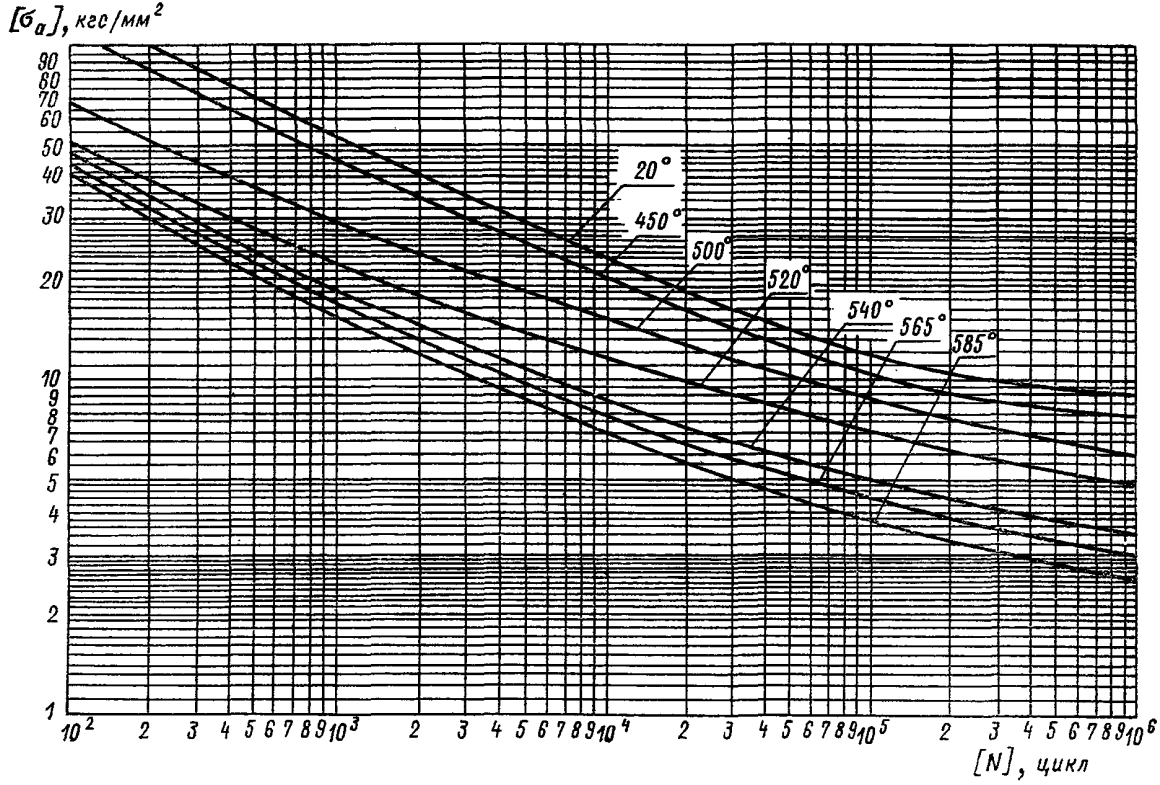
$$\Pi_\sigma = (\Pi_N)^{1/m}.$$

Расчетные кривые малоцикловой усталости углеродистых сталей



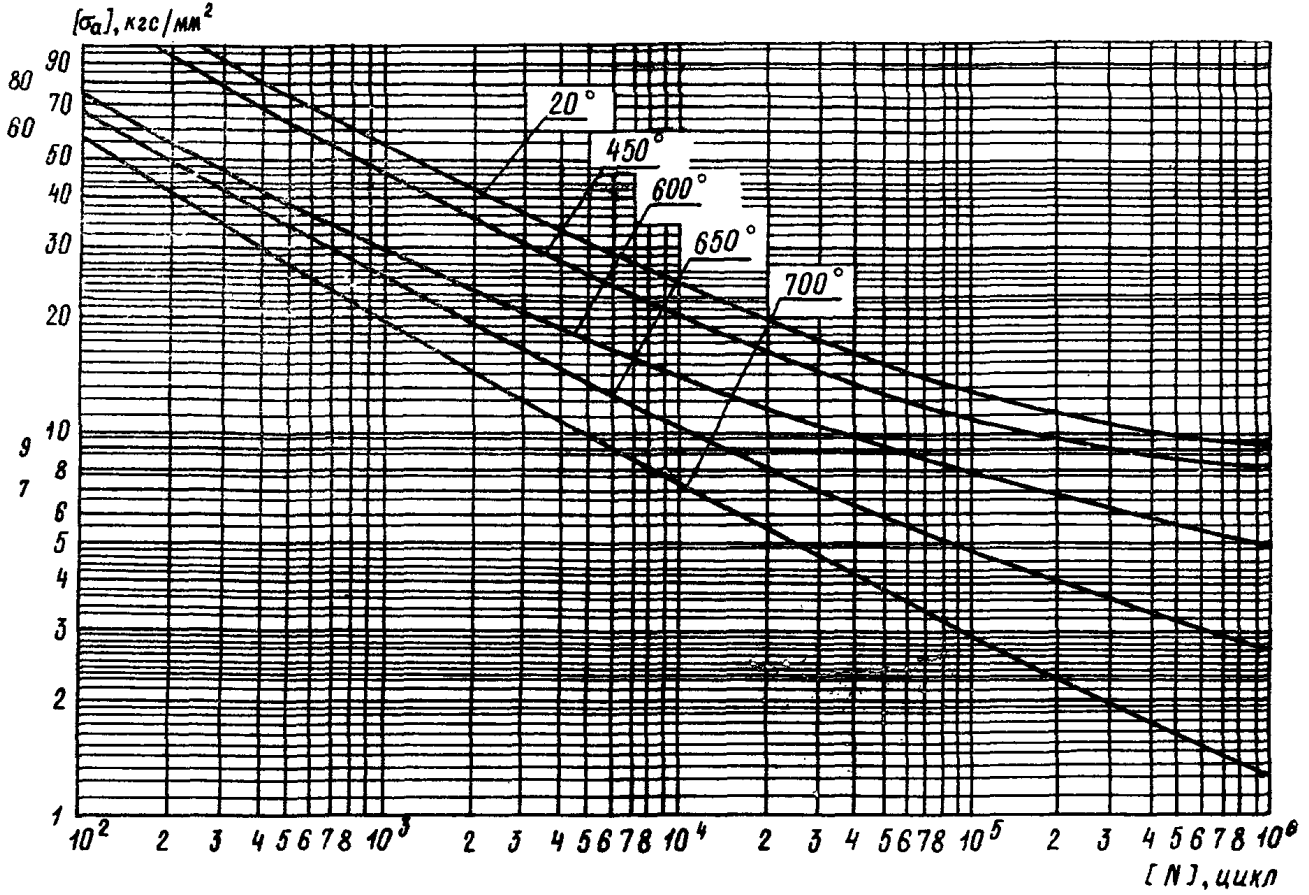
Черт. 1

Расчетные кривые малоцикловой усталости низколегированных хромомолибденованадиевых сталей



Черт. 2

Расчетные кривые малоцикловой усталости высоколегированных хромоникелевых сталей



Черт. 3

Значения параметра D приведены на графике черт. 4. Для температур, ниже указанных, $П_N = П_\sigma = 1$. Рекомендуется принимать $\sigma^t_{д.п} = 1{,}5[\sigma]$.

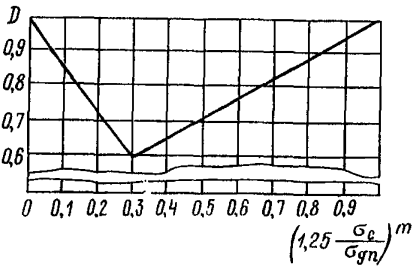
Расчетное напряжение при ползучести σ_c представляет собой максимальное главное нормальное напряжение с учетом пластичности и ползучести материала.

В случае отсутствия точного значения допускается принимать σ_c наибольшим из значений, вычисленных по формулам:

$$\sigma_c = k\sigma^{в}_{э};$$

$$\sigma_c = k\sigma^{в,\,ск}_{э}.$$

Суммарная повреждаемость как функция от повреждаемости, вызываемой ползучестью



Черт. 4

При $\frac{\Delta\sigma_{эij}}{1{,}5([\sigma]_{max}+[\sigma]_{min})} \leqslant 1$ для коллекторов $k=1{,}20$; для гибов $k=1{,}2$ при $s/D_н > 0{,}12$; $k=1{,}25$ при $0{,}08 < s/D_н \leqslant 0{,}12$; $k=1{,}35$ при $s/D_н \leqslant 0{,}08$.

При $\frac{\Delta\sigma_{эij}}{1{,}5([\sigma]_{max}+[\sigma]_{min})} > 1$ для коллекторов $k=1{,}30$; для гибов $k=1{,}35$ при $s/D_н > 0{,}12$; $k=1{,}40$ при $0{,}08 < s/D_н \leqslant 0{,}12$; $k=1{,}5$ при $s/D_н \leqslant 0{,}08$.

Примечания:

1. При расчете $\sigma^{в,\,ск}_{э}$ по ОСТ 108.031.02—75 нагрузки $Q^{ск}$, $M^{ск}_{к}$ принимаются с коэффициентом релаксации, определяемым в соответствии с РТМ 24.038.08—72 (см. черт. 1 указанного РТМ).

2. Для гибов внешних паро- и водоперепускных труб в пределах котла диаметром 76 мм и более рекомендуется дополнительная прибавка к расчетной толщине стенки: для давления 100 кгс/см² 3 мм, 140 кгс/см² 2 мм, что связано с различными режимными факторами, возникающими при пуске и останове.

6.5. Если $1{,}25\frac{\sigma_c}{\sigma^t_{д.п}} \geqslant 1$, то допускается не более 100 циклов пусков — остановов, если $\frac{\sigma_c}{\sigma^t_{д.п}} \leqslant 0{,}5$, то $П_N = П_\sigma = 1$ (повреждаемость от ползучести не учитывается).

6.6. Если в расчетной точке детали имеются сварные швы, то допускаемое число циклов уменьшается в два раза по сравнению с полученным по расчетным кривым малоцикловой усталости при отсутствии швов.

6.7. Если деталь подвергается циклам нагружения различного типа при неизменных значениях давления, температуры и внешних

нагрузок, то для оценки долговечности следует использовать формулу

$$\sum \frac{N_i}{[N]} + \left(1{,}25\,\frac{\sigma_c}{\sigma^t_{д.п}}\right)^m \leqslant D.$$

Если в процессе работы номинальные значения давления, температуры и внешних нагрузок изменяются, то для оценки долговечности следует использовать формулу

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{N_i}{[N]} + \frac{\sum_{i}^{l} \frac{\tau_i}{\tau} (\sigma_{ci})^m}{\sum_{i}^{l} \frac{\tau_i}{\tau} \left(\frac{\sigma^t_{д.п\,i}}{1{,}25}\right)^m} \leqslant D.$$

6.8. Если заданное число циклов данного типа меньше 1000, то расчет производится на 1000 циклов.

6.9. Примеры расчета деталей котлов на малоцикловую усталость при наличии ползучести даны в справочном приложении.

ПРИЛОЖЕНИЕ
Справочное

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

1. ПОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ ВЫХОДНОЙ КАМЕРЫ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ

1.1. Рассчитать допустимое число пусков — остановов для выходной камеры пароперегревателя котла. Максимальная скорость прогрева 2 и 4°С/мин. Наружный диаметр камеры 426 мм, толщина стенки 90 мм, материал — сталь 15Х1М1Ф. Максимальная температура цикла 555°С, минимальная 250°С. Давление 255 кгс/см^2, коэффициент прочности $\varphi=0{,}8$. Предполагается, что коллектор не несет весовых и компенсационных нагрузок. Перепады температур по длине и периметру коллектора пренебрежимо малы.

1.2. В начале пуска напряжения от перепада температур по толщине стенки, вызванные прогревом, максимальны, а напряжения от внутреннего давления близки к нулю. При выходе на стационарный режим температурные напряжения падают до нуля, а напряжения от внутреннего давления достигают максимальных значений.

Предполагается, что при останове уровень напряжений ниже, чем при пуске. В этих условиях минимальная интенсивность достигается в начале разогрева, а максимальная — при выходе на стационарный режим.

1.3. Порядок расчета представлен в табл. 1.

1.4. При низких скоростях прогрева $v_t=2$°С/мин допустимое число циклов составляет 840, при $v_t=4$°С/мин возникает упругопластический цикл и допустимое число циклов резко падает до 135. Из примера видно, что в маневренном режиме данная конструкция плохо работает и следует принять меры конструктивного или режимного характера.

2. ПОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ ГИБА ПЕРЕПУСКНОЙ ТРУБЫ КОТЛА

2.1. Рассчитать допустимое число циклов пусков — остановов для гиба необогреваемого трубопровода в пределах котла с параметрами пара 155 кгс/см^2 и 500°С, материал — сталь 12Х1МФ. Наружный диаметр трубопровода 108 мм, толщина стенки 10 мм, овальность — не более 8%. Внешний изгибающий момент от самокомпенсации температурных расширений $M=9{,}0\cdot10^5$ кгс·мм, расположен в плоскости гиба и сгибает колено.

2.2. На стационарном режиме гиб находится под действием внутреннего давления и изгибающего момента. При останове нагрузки существенно ниже. В соответствии с РТМ 24.038.08—72 (черт. 1) примем коэффициент, характеризующий релаксацию напряжений от самокомпенсации, равным 0,6, относительный радиус гиба $R/D=4$.

2.3. Порядок расчета представлен в табл. 2.

ПРИМЕР 1

Таблица 1

Искомая величина	Источник	Расчет
Напряжения при квазистационарном режиме на внутренней поверхности коллектора	РТМ 24.038.11—72	$\sigma_{\varphi t} = 0{,}167 \cdot 10^{-9}\, \varphi \frac{s^2 v_t}{a} \frac{2E}{1-\mu}$, кгс/мм² (черт. 3, 5, 6 и 7 РТМ 24.038.11—72)
		Имеем $\varphi = -0{,}43$, $a = 0{,}8 \cdot 10^{-5}$ м²/с, $\alpha = 13{,}6 \cdot 10^{-6}$,
		$E^t_{\min} = 2{,}07 \cdot 10^6$ кгс/см², $\frac{D_н}{D_в} = \frac{426}{246} = 1{,}73$, $\sigma_{rt} = 0$
Минимальные эквивалентные напряжения при:	П. 4.3	
$v_t = 2$°С/мин		$\sigma^{250}_{э\,13\min} = k_t \sigma_{\varphi t} - \sigma_{rt} = 2 \cdot 0{,}167 \cdot 10^{-9} (-0{,}43) \frac{90^2 \cdot 2}{0{,}8 \cdot 10^{-5}} \times$ $\times \frac{13{,}6 \cdot 10^{-6} \cdot 2{,}07 \cdot 10^6}{1-0{,}3} = -12{,}1$ кгс/мм²
$v_t = 4$°С/мин		$\sigma^{250}_{э\,13\min} = k_t \sigma_{\varphi t} - \sigma_{rt} = 2 \cdot 0{,}167 \cdot 10^{-9} (-0{,}43) \frac{90^2 \cdot 4}{0{,}8 \cdot 10^{-5}} \times$ $\times \frac{13{,}6 \cdot 10^{-6} \cdot 2{,}07 \cdot 10^6}{1-0{,}3} = -24{,}2$ кгс/мм²
Максимальные эквивалентные напряжения		$\sigma^{555}_{э\,13\max} = k_p \sigma_{\varphi p} - \sigma_{rp} = 3 \frac{p}{100} \frac{\beta^2+1}{\beta^2-1} - \left(-\frac{p}{100}\right) =$ $= 3 \frac{255}{100} \frac{(1{,}73)^2+1}{(1{,}73)^2-1} + \frac{255}{100} = 17{,}9$ кгс/мм²

Искомая величина	Источник	Расчет
Размах эквивалентных напряжений при:	П. 5.1	
v_t=2°С/мин		$\Delta\sigma_{э\,13} = E^t\left(\frac{\sigma^{555}_{э\,13\,max}}{E^{555}_{max}} - \frac{\sigma^{250}_{э\,13\,min}}{E^{250}_{min}}\right) =$ $= 1{,}73\cdot10^4\left(\frac{17{,}9}{1{,}73\cdot10^4} + \frac{12{,}1}{2{,}07\cdot10^4}\right) = 28$ кгс/мм²
v_t=4°С/мин		$\Delta\sigma_{э\,13} = 1{,}73\cdot10^4\left(\frac{17{,}9}{1{,}73\cdot10^4} + \frac{24{,}2}{2{,}07\cdot10^4}\right) = 38{,}6$ кгс/мм²
Расчетная амплитуда напряжений при:	П. 5.2	
v_t=2°С/мин		$\max\begin{cases}\sigma_a = \frac{\Delta\sigma_{э\,13}}{2};\\ \sigma_a = \frac{\Delta\sigma_{э\,13}}{2}\,\frac{\Delta\sigma_{э\,13}}{1{,}5\left(\left[\sigma\right]^{555}_{max} + \left[\sigma\right]^{250}_{min}\right)};\end{cases}$
	ОСТ 108.031.02—75	$\left[\sigma\right]^{555}_{max} = 6{,}75$ кгс/мм²; $\left[\sigma\right]^{250}_{min} = 18{,}6$ кгс/мм²;
		$\frac{\Delta\sigma_{э\,13}}{1{,}5\left(\left[\sigma\right]^{555}_{max} + \left[\sigma\right]^{250}_{min}\right)} = \frac{28}{1{,}5\,(6{,}75 + 18{,}6)} = 0{,}74 < 1;$
		$\sigma_a = \frac{\Delta\sigma_{э\,13}}{2} = \frac{28}{2} = 14{,}0$ кгс/мм²

Продолжение табл. 1

Искомая величина	Источник	Расчет
Допускаемое число циклов по расчетным кривым малоцикловой усталости при v_t = =2°С/мин	П. 6.2	$[N] = 2000$
Расчетная амплитуда напряжений при v_t=4°С/мин	П. 5.2	$\max \begin{cases} \sigma_a = \frac{\Delta\sigma_{э\,13}}{2} = \frac{38,6}{2} = 19,3; \\ \sigma_a = \frac{\Delta\sigma_{э\,13}}{2} \frac{[\Delta\sigma_э]_{18}}{1,5\left([\sigma]^{555}_{max} + [\sigma]^{250}_{min}\right)} = \frac{38,6}{2} \times \\ \times \frac{38,6}{1,5\,(6,75 + 18,6)} = 20,5 \text{ кгс/мм}^2 \end{cases}$
Допускаемое число циклов по расчетным кривым малоцикловой усталости при v_t = =4°С/мин	П. 6.2	$[N] = 650$

Искомая величина	Источник	Расчет
Среднее окружное напряжение от внутреннего давления при номинальном режиме	ОСТ 108.031.02—75, П. 9.3.1	$\sigma_\varphi = \frac{pD_в}{200s\varphi} = \frac{155\,(426-180)}{200\cdot 90\cdot 0{,}8} = 4{,}35$ кгс/мм^2
Среднее радиальное напряжение от внутреннего давления	П. 9.3.3	$\sigma_r = -\frac{p}{200} = -\frac{255}{200} = -1{,}27$ кгс/мм^2
Эквивалентное напряжение от внутреннего давления	П. 9.3.8	$\sigma_э = \sigma_\varphi - \sigma_r = 4{,}35 - (-1{,}27) = 5{,}62$ кгс/мм^2
Расчетное напряжение с учетом ползучести при:	П. 6.4	
$v_t = 2$°С/мин		$\sigma_c = 1{,}20\sigma_э = 1{,}2\cdot 5{,}62 = 6{,}75$ кгс/мм^2
$v_t = 4$°С/мин		$\sigma_c = 1{,}3\sigma_э = 1{,}3\cdot 5{,}62 = 7{,}3$ кгс/мм^2 $\left(\text{поскольку } \frac{\Delta\sigma_{э\,13}}{1{,}5\left([\sigma]^t_{\max} + [\sigma]^t_{\min}\right)} > 1 \text{ при } v_t = 4\text{°С/мм}\right)$

Продолжение табл. 1

Искомая величина	Источник	Расчет
Повреждаемость, вызываемая ползучестью, при v_t = =2°С/мин	П. 6.4, черт. 4	$\left(1{,}25\frac{\sigma_c}{\sigma_{д.п}}\right)^m = \left(1{,}25\frac{6{,}75}{10{,}1}\right)^8 = 0{,}24;$ $m = 8; \quad D = 0{,}66;$ $\Pi_N = \frac{1}{D - \left(1{,}25\frac{\sigma_c}{\sigma_{д.п}}\right)^m} = \frac{1}{0{,}66 - 0{,}24} = \frac{1}{0{,}42} = 2{,}38$
Допускаемое число циклов при v_t=2°С/мин	П. 6.1	$[N^*] = \frac{[N]}{\Pi_N} = \frac{2000}{2{,}38} = 840$
Повреждаемость, вызываемая ползучестью, при v_t=4°С/мин	П. 6.4, черт. 4	$\left(1{,}25\frac{\sigma_c}{\sigma_{д.п}}\right)^m = \left(1{,}25\frac{7{,}3}{10{,}1}\right)^8 = 0{,}475;$ $m = 8; \quad D = 0{,}68;$ $\Pi_N = \frac{1}{D - \left(1{,}25\frac{\sigma_c}{\sigma_{д.п}}\right)^8} = \frac{1}{0{,}68 - 0{,}475} = \frac{1}{0{,}205} = 4{,}9$
Допускаемое число циклов при v_t=4°С/мин	П. 6.1	$[N^*] = \frac{[N]}{\Pi_N} = \frac{650}{4{,}9} = 135$

ПРИМЕР 2

Таблица 2

Искомая величина	Источник	Расчет
Главные напряжения при стационарном режиме на внешней образующей гиба		$\sigma_\varphi = \sigma_{\varphi p} + \sigma_{\varphi a} + \sigma_{\varphi M} = 6{,}1 + 24{,}4 + 12{,}9 = 42{,}3$ кгс/мм²;
		$\sigma_{\varphi p} = \frac{p}{100}\frac{2}{(D_н/D_в)^2 - 1} = \frac{155}{100}\frac{2}{(1{,}23)^2} = 6{,}1$ кгс/мм²;
		$\frac{D_н}{D_в} = \frac{108}{88} = 1{,}23;\quad s/D_н = \frac{10}{108} = 0{,}0925;$
	П. 4.2	$\sigma_{\varphi a} = k_к \sigma_{\varphi p} = 4{,}0 \cdot 6{,}1 = 24{,}4$ кгс/мм²;
	РТМ 24.038.08—72	$\sigma_{\varphi M} = \gamma \frac{M}{w} = 1{,}0 \frac{9{,}0 \cdot 10^5}{0{,}7 \cdot 10^5} = 12{,}9$ кгс/мм²
		$\sigma_z = \sigma_{zp} + \sigma_{za} + \sigma_{zM} = 3{,}05 + 7{,}3 + 12{,}9 = 23{,}3$ кгс/мм²;
		$\sigma_{zp} = \frac{p}{100}\frac{1}{(D_н/D_в)^2 - 1} = \frac{155}{100}\frac{1}{(1{,}23)^2 - 1} = 3{,}05$ кгс/мм²;
		$\sigma_{za} = \mu \sigma_{\varphi a} = 0{,}3 \cdot 24{,}4 = 7{,}3$ кгс/мм²;
	РТМ 24.038.08—72	$\sigma_{zM} = \beta \frac{M}{w} = 1{,}0 \frac{9{,}0 \cdot 10^5}{0{,}7 \cdot 10^5} = 12{,}9$ кгс/мм²
		при $R/D = 4$ и $\lambda = 4\frac{R}{D}\frac{s}{D} = 1{,}48 > 1$
		$\gamma = \beta = 1$ (РТМ 24.038.08—72)

Продолжение табл. 2

Искомая величина	Источник	Расчет
Максимальные эквивалентные напряжения	П. 4.3	$\sigma^{500}_{э\,13} = \sigma_\varphi - \sigma_r = 42{,}3 - 0 = 42{,}3$ кгс/мм²; $\sigma^{500}_{э\,23} = \sigma_z - \sigma_r = 23{,}3 - 0 = 23{,}3$ кгс/мм²; $\sigma^{500}_{э\,12} = \sigma_\varphi - \sigma_z = 42{,}3 - 23{,}3 = 19{,}0$ кгс/мм²; Максимальное значение $\sigma^{500}_{э\,13\,max} = 42{,}3$ кгс/мм²
Минимальные эквивалентные напряжения	П. 4.3	$\sigma^{20}_{э\,13\,min} = \sigma^{20}_{э\,23\,min} = \sigma^{20}_{э\,12\,min} = 0$
Размах эквивалентных напряжений	П. 5.1	$\Delta\sigma_{э\,13} = E^t \left(\frac{\sigma^{500}_{э\,13\,max}}{E^{500}_{max}} - \frac{\sigma^{20}_{э\,13\,min}}{E^{20}_{min}} \right) = 42{,}3 - 0 = 42{,}3$ кгс/м²
Расчетная амплитуда напряжений	П. 5.2	$\max \begin{cases} \sigma_a = \frac{\Delta\sigma_{э\,13}}{2} = \frac{42{,}3}{2} = 21{,}15; \\ \sigma_a = \frac{\Delta\sigma_{э\,13}}{2} \frac{\Delta\sigma_{э\,13}}{1{,}5\left([\sigma]^{500}_{max} + [\sigma]^{20}_{min} \right)} = \\ = \frac{42{,}3}{2} \frac{42{,}3}{1{,}5\,(11{,}3 + 17{,}3)} = 21{,}0; \end{cases}$

Продолжение табл. 2

Искомая величина	Источник	Расчет
Расчетная амплитуда напряжений	П. 5.2	$[\sigma]^{500}_{max} = 11{,}3$ кгс/мм², $[\sigma]^{20}_{min} = 17{,}3$ кгс/мм² (ОСТ 108.031.02—75). Принимаем $\sigma_a = 21{,}2$ кгс/мм²
Допускаемое число циклов по расчетным кривым малоцикловой усталости	П. 6.2, черт.	$[N] = 3000$
Среднее окружное напряжение от внутреннего давления	ОСТ 108.031.02—75, П. 9.3.1	$\sigma_\varphi = \frac{pD_в}{200s} = \frac{155 \cdot 88}{200 \cdot 10} = 6{,}85$ кгс/мм²
Среднее радиальное напряжение от внутреннего давления	П. 9.3.3	$\sigma_r = -\frac{p}{200} = -\frac{155}{200} \cong -0{,}8$ кгс/мм²
Эквивалентное напряжение от внутреннего давления	П. 9.3.8	$\sigma^в_э = \sigma_\varphi - \sigma_r = 6{,}85 - (-0{,}8) = 7{,}65$ кгс/мм²
Среднее осевое напряжение от внутреннего давления	П. 9.3.2	$\sigma_{zp} = \frac{p\,(D_в)^2}{400\,(D_в + s)\,s} = \frac{155\,(88)^2}{40\,(88 + 10) \cdot 10} = 3{,}05$ кгс/мм²
Среднее осевое напряжение от изгибающего момента, вызванного самокомпенсацией температурных расширений	П. 9.3.2	$\sigma_{zM} = \frac{M}{w} = \frac{9{,}0 \cdot 10^5}{0{,}7 \cdot 10^5}$ 12,9 кгс/мм²

Продолжение табл. 2

Искомая величина	Источник	Расчет
Эквивалентное напряжение от внутреннего давления и самокомпенсации температурных расширений	П. 9.3.8, РТМ 24.038.08—72	$\sigma_э^{в,\,ск} = \sigma_z - \sigma_r = 3{,}05 + 0{,}8 \cdot 0{,}6 \cdot 12{,}9 - (-0{,}8) = 10{,}1$ кгс/мм² $s/D_н = 0{,}0925; \quad k = 1{,}25$
Расчетное напряжение с учетом ползучести	П. 6.4	$\max \begin{cases} \sigma_c = k\sigma_э^в = 1{,}25 \cdot 7{,}6 = 9{,}5 \text{ кгс/мм}^2; \\ \sigma_c = k\sigma_э^{в,\,ск} = 1{,}25 \cdot 10{,}1 = 12{,}6 \text{ кгс/мм}^2; \end{cases}$ $k = 1{,}25$ так как $\dfrac{\Delta\sigma_{э\,13}}{1{,}5\left([\sigma]^t_{max} + [\sigma]^t_{min}\right)} < 1.$ Принимаем для дальнейших расчетов большее значение: $\sigma_c = 12{,}6$ кгс/мм²
Повреждаемость, вызываемая ползучестью	П. 6.4	$\left(1{,}25\,\dfrac{\sigma_c}{\sigma_{д.п}}\right)^m = \left(1{,}25\,\dfrac{12{,}6}{1{,}5 \cdot 11{,}3}\right)^8 = 0{,}61;$ $D = 0{,}77, \quad m = 8;$ $\Pi_N = \dfrac{1}{D - \left(1{,}25\,\dfrac{\sigma_c}{\sigma_{д.п}}\right)^m} = \dfrac{1}{0{,}77 - 0{,}61} = 6{,}25$
Допускаемое число циклов	П. 6.1	$[N^*] = \dfrac{]N[}{\Pi_N} = \dfrac{3000}{6{,}25} = 480$

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

1. Условные обозначения 1
2. Основные положения 2
3. Переменные нагрузки 3
4. Переменные напряжения 3
5. Размах и амплитуда переменных напряжений 4
6. Допускаемая амплитуда переменных напряжений 5

Приложение. Примеры расчета 11

Редактор *Н. М. Чернецова.*

Техн. ред. *Н. П. Белянина.* Корректор *С. М. Косенкова.*

Сдано в набор 27.02.78. Подписано к печ. 12.04.78. Формат бум. $60\times90^1/_{16}$.
Объем $1^1/_4$ печ. л. Тираж 400 Заказ 201. Цена 25 коп.

Редакционно-издательский отдел НПО ЦКТИ им. И. И. Ползунова.
194021, Ленинград, Политехническая ул., 24.

ГРУППА Е21

ИЗМЕНЕНИЕ № I

РТМ 108.031.105-77

"Котлы стационарные паровые и водогрейные и трубопроводы пара и горячей воды. Метод оценки долговечности при малоцикловой усталости и ползучести".

Указанием Министерства энергетического машиностроения от 13.12.84. № СЧ-004/9334 срок введения установлен с 01.10.85

Раздел I. Абзац "Π_σ, Π_N - коэффициенты,....." - исключить.

Пункт 4.2. Второй абзац, начиная со слов "Для гибов, коэффициент концентрации...." заменить предложением: "Составляющие главных нормальных напряжений для гибов рекомендуется определять в соответствии с РТМ 108.031.112-80".

Пункт 6.I изложить в новой редакции:

"6.I. Для оценки допускаемой амплитуды переменных напряжений / σ_a^* / при заданном числе циклов N или допускаемого числа циклов / N^* / при заданной амплитуде напряжений σ_a используется принцип суммирования повреждений от усталости и ползучести в виде

$$\frac{N}{[N]} + \left(1{,}25\frac{\sigma_c}{\sigma^t_{g.n}}\right)^n \leqslant D$$

Значения предела длительной прочности следует принимать в соответствии с действующей нормативно-технической документацией на материалы.

Допускается принимать для диапазона температур, обуславливающих учет ползучести в соответствии с ОСТ 108.031.02-75

$$\sigma^t_{g.n} = 1{,}5[\sigma]$$

Для сталей I2ХМФ, I5ХМ и I2МХ формулу $\sigma_{дп}^{в} = 1{,}5[\sigma]$ для определения предела длительной прочности рекомендуется использовать при температурах не ниже 485°С."

Пункт 6.2 дополнить:
"Кривые малоцикловой усталости с учетом влияния коррозии для гибов трубопроводов котлов приведены в РТМ I08.03I.II2-80".

Пункт 6.4 изложить в новой редакции:
"6.4. Расчетное напряжение при ползучести σ_c представляет собой максимальное главное нормальное напряжение, определенное с учетом пластичности и ползучести материала. Расчет σ_c для колен трубопроводов рекомендуется производить в соответствии с РТМ I08.03I.II2-80.
Для камер пароперегревателей допускается принимать σ_c наибольшим из значений, вычисленных по формулам:

$$\sigma_c = K \cdot \sigma_э^{в} ;$$

$$\sigma_c = K \cdot \sigma_э^{в,ск} ,$$

где K = I,4 при $\dfrac{\Delta \sigma_{эij}}{1{,}5 \cdot ([\sigma]_{max} + [\sigma]_{min})} \leqslant 1$;

K = I,5 при $\dfrac{\Delta \sigma_{эij}}{1{,}5 \cdot ([\sigma]_{max} + [\sigma]_{min})} > 1$.

Значения $\sigma_э^{в}$ и $\sigma_э^{в,ск}$ следует определять, принимая значение коэффициента ослабления отверстиями φ = I".

Пункт 6.5 изложить в новой редакции:

"6.5. Если $I,25 \cdot \frac{\sigma_e}{\sigma^t_{g.n}} \geq 1$, то допускается не более I00 циклов пуск-останов, если $\frac{\sigma_e}{\sigma^t_{g.n}} \leq 0,5$, то повреждаемость от ползучести не учитывается".

Ротапринт. НПО ЦКТИ. Тираж 500. Заказ 309 I985 г.

gost.e-ecolog.ru