ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 59115.16— 2021

ОБОСНОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ АТОМНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Расчет на прочность разъемных соединений

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2021

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Акционерным обществом «Ордена Ленина Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники имени Н.А. Доллежаля» (АО «НИКИЭТ»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 322 «Атомная техника»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25 ноября 2021 г. № 1578-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

5 Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии не несет ответственности за патентную чистоту настоящего стандарта. Патентообладатель может заявить о своих правах и направить в Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии аргументированное предложение о внесении в настоящий стандарт поправки для указания информации о наличии в стандарте объектов патентного права и патентообладателе

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «РСТ», 2021

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 Термины, определения, сокращения, обозначения 2
3.1 Термины и определения 2
3.2 Обозначения и сокращения 2
4 Общие положения 3
5 Расчет коэффициента нагрузки 4
6 Расчет усилия, вызванного температурным воздействием 5
7 Расчет коэффициента нагрузки и усилия, вызванного температурным воздействием, численным методом 5
8 Расчет усилия начальной затяжки шпилек (болтов) 5
9 Расчет усилий на прокладке 6
10 Расчет усилий в шпильках (болтах) 7
11 Расчет усилий в условиях ползучести 8
12 Расчет напряжений в шпильках 8
12.1 Расчет напряжений в стержне шпильки 8
12.2 Расчет напряжений в резьбах 10
Приложение А (рекомендуемое) Формулы для расчета коэффициентов податливости 11
Приложение Б (справочное) Характеристики прокладочных материалов 12
Приложение В (рекомендуемое) Значения параметров b, m и q_0 для различных типов прокладок . . . 13
Библиография 15

Введение

Настоящий стандарт взаимосвязан с другими стандартами, входящими в комплекс стандартов, регламентирующих обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ОБОСНОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ АТОМНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Расчет на прочность разъемных соединений

Rules for strength assessment of equipment and pipelines of nuclear power installations. Strength analysis of flanged joints

Дата введения — 2022—01—01

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает требования к расчету на прочность разъемных соединений оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок, работающих под внутренним избыточным давлением (далее — разъемные соединения), на которые распространяется действие федеральных норм и правил в области использования атомной энергии [1].

1.2 Настоящий стандарт распространяется на следующие типы разъемных соединений:

- фланцевое соединение с плоской или профильной прокладкой;
- фланцевое соединение с клиновой прокладкой.

1.3 Настоящим стандартом не регламентируются методы, применяемые для определения напряженно-деформированного состояния компонентов разъемного соединения.

1.4 Настоящий стандарт предназначен для проведения расчетов по обоснованию прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок в части выбора усилия начальной затяжки разъемного соединения, расчета усилий и напряжений в шпильках (болтах) и обеспечения удельного давления сжатия прокладки в пределах допускаемых значений.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ ISO/IEC 17025 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий

ГОСТ Р 8.568 Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения

ГОСТ Р 8.932 Государственная система обеспечения единства измерений. Требования к методикам (методам) измерений в области использования атомной энергии. Основные положения

ГОСТ Р 59115.1 Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Термины и определения

ГОСТ Р 59115.4 Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Длительные механические свойства конструкционных материалов

ГОСТ Р 59115.9 Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Поверочный расчет на прочность

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам

Издание официальное

ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения, сокращения, обозначения

3.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 59115.1 и ГОСТ Р 59115.9, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **плотность разъемного соединения:** Свойство конструкции разъемного соединения и материалов его компонентов, контактирующих с рабочей средой (жидкостью или газом), препятствовать прониканию этой среды наружу.

3.1.2 **начальная затяжка разъемного соединения:** Нагружение при сборке разъемного соединения для устранения неплотности прилегания прокладки к контактирующим поверхностям и создания условий, обеспечивающих плотность соединения в условиях эксплуатации и испытаний.

3.2 Обозначения и сокращения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения и сокращения:

T_t — температура, при достижении которой необходимо учитывать характеристики длительной прочности, пластичности и ползучести, K (°C);

F_{ob} — усилие, необходимое для обжатия прокладки, Н;

$F_{pr.p}$ — усилие на прокладку, обеспечивающее плотность соединения при эксплуатации, Н;

$F_{pr.h}$ — усилие на прокладку, обеспечивающее плотность при испытании, Н;

F_p — гидростатическое усилие в условиях эксплуатации, Н;

F_{ph} — гидростатическое усилие при испытании, Н;

F_{0w} — усилие начальной затяжки шпилек или болтов, Н;

F_w — усилие на шпильках или болтах, Н;

F_{pr} — осевое усилие на прокладке, Н;

F_T — усилие на шпильках, вызываемое температурным воздействием, Н;

p — избыточное давление рабочей среды в условиях эксплуатации, МПа;

p_h — наибольшее избыточное давление рабочей среды при испытании, МПа;

q — удельное давление осевого сжатия прокладки, МПа;

q_0 — удельное давление обжатия прокладки при затяжке соединения, МПа;

m — прокладочный коэффициент;

χ — коэффициент нагрузки;

λ_f — коэффициент податливости фланца, мм/Н;

λ_{pr} — коэффициент податливости прокладки, мм/Н;

λ_w — коэффициент податливости шпильки, мм/Н;

λ_b — коэффициент податливости втулки (шайбы), мм/Н;

λ_r — коэффициент податливости опорного бурта, мм/Н;

E_w — модуль продольной упругости материала шпильки, МПа;

E_f — модуль продольной упругости материала фланца, МПа;

E_b — модуль продольной упругости материала втулки (шайбы), МПа;

E_r — модуль продольной упругости материала опорного бурта, МПа;

E_{pr} — модуль продольной упругости материала прокладки, МПа;

h_w — высота рабочей части резьбы (резьбового соединения), мм;

h_b — расчетная высота втулки (шайбы), мм;

h_{pr} — расчетная высота прокладки, мм;

h_1 — высота клиновой прокладки, мм;
h'_1 — суммарная ширина проточек на цилиндрической поверхности клиновой прокладки, мм;
b — эффективная ширина прокладки, мм;
b_0 — условная ширина прокладки, мм;
b_1 — ширина торца клиновой прокладки, мм;
b_2 — ширина конуса клиновой прокладки, мм;
b'_1 — суммарная ширина проточек на торце клиновой прокладки, мм;
b'_2 — суммарная ширина проточек на конусе клиновой прокладки, мм;
d_c — диаметр отверстия в шпильке, мм;
d_w — диаметр стержня шпильки, мм;
d_0 — наружный диаметр резьбы шпильки, мм;
d_1 — внутренний диаметр резьбы шпильки, мм;
D_{pr} — средний диаметр прокладки, мм;
D_w — диаметр окружности расположения центров шпилек, мм;
α — угол конуса клиновой прокладки, рад;
A_b — площадь поперечного сечения втулки (шайбы), мм^2;
l_w — свободная длина шпильки между нижним торцом гайки и верхним торцом корпуса, мм;
z — количество шпилек;
W — момент сопротивления сечения стержня шпильки при изгибе, мм^3;
$W_к$ — момент сопротивления сечения стержня шпильки при кручении, мм^3;
$M_к$ — крутящий момент, действующий на шпильку, Н·мм;
w_1, w_2 — радиальные перемещения концов шпильки, мм;
ϑ_1, ϑ_2 — угловые перемещения концов шпильки, рад;
σ_{mw} — напряжение растяжения в шпильке, МПа;
σ_{bw} — напряжение изгиба в шпильке, МПа;
τ_{sw} — напряжение кручения в шпильке, МПа;
τ_{sb}, τ_{sn} — напряжение среза резьбы в болте и гайке, МПа;
МКЭ — метод конечных элементов;
НДС — напряженно-деформированное состояние.

4 Общие положения

4.1 В настоящем стандарте приведена методика расчета разъемных соединений оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок, работающих под внутренним избыточным давлением, в части выбора усилия начальной затяжки соединения, расчета усилий и напряжений в шпильках (болтах) и обеспечения удельного давления сжатия прокладки в пределах допускаемых значений для следующих типов соединений:

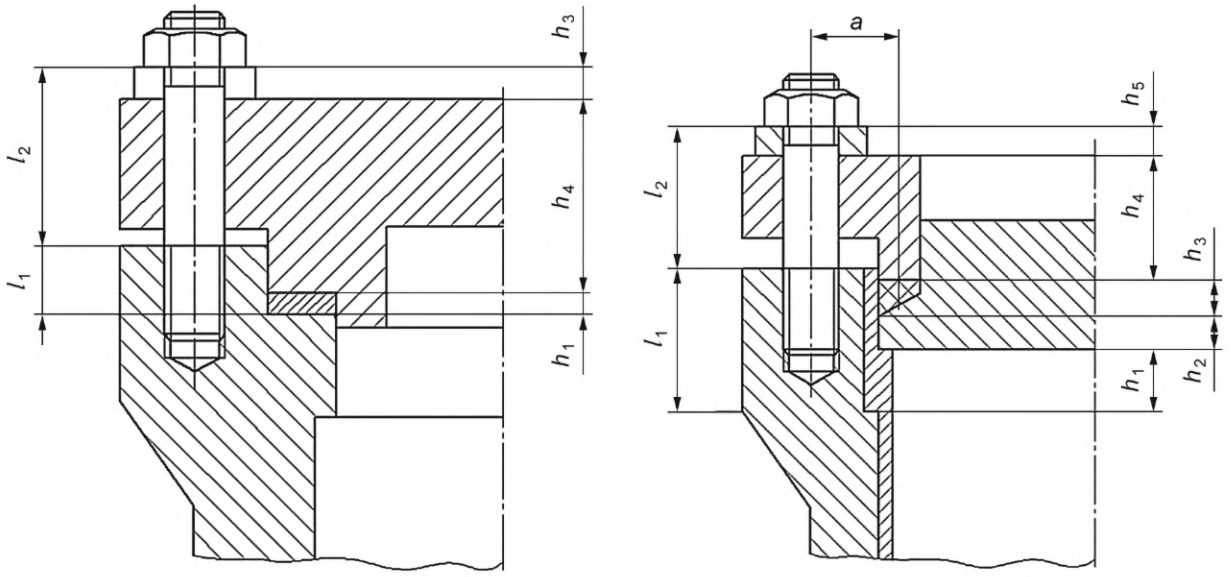
- фланцевое соединение с плоской или профильной прокладкой [см. рисунок 4.1а)];
- фланцевое соединение с клиновой прокладкой [см. рисунок 4.1б)].

Для компонентов разъемного соединения должны быть предусмотрены меры по защите от коррозии, эрозии и других физико-химических воздействий в соответствии с требованиями [1].

4.2 Поверочный расчет на прочность компонентов разъемного соединения, за исключением прокладки, следует выполнять по допускаемым напряжениям для категорий и групп категорий напряжений в соответствии с требованиями ГОСТ Р 59115.9.

Требования к прочности прокладки устанавливаются по максимальному допускаемому удельному давлению на прокладку из условия ее работоспособности. Данные требования не применяются к плоским и профилированным резиновым прокладкам разъемных соединений с контактирующими фланцами.

4.3 Настоящим стандартом не регламентируются методы, применяемые для определения НДС компонентов соединения. Выбранный метод должен учитывать все расчетные нагрузки для всех расчетных случаев и давать возможность определить все необходимые расчетные группы категорий напряжений. Допускается определять НДС соединения с использованием методик и подходов, изложенных в других документах по стандартизации разъемных соединений.



а) Соединение с плоской прокладкой

б) Соединение с клиновой прокладкой

Рисунок 4.1 — Типовые конструкции разъемных соединений

4.4 В зависимости от типа, конструкции и материала прокладки для расчета принимают следующие характеристики прокладки:

- прокладочный коэффициент m;
- удельное давление на прокладке при обжатии q_0;
- минимальное допустимое удельное давление на прокладку из условия плотности соединения q_{min};
- максимальное допускаемое удельное давление на прокладку из условия ее работоспособности q_{max}.

4.5 Для экспериментального определения значений параметров прокладок и (или) прокладочных материалов следует применять аттестованные в соответствии с ГОСТ Р 8.932 методики измерений при испытаниях. Организации (испытательные лаборатории) и персонал, выполняющие испытания, а также средства измерений, используемые при испытаниях, должны соответствовать требованиям ГОСТ ISO/IEC 17025. Испытательное оборудование, используемое при проведении испытаний, должно быть аттестовано в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.568.

4.6 Расчет соединений с прокладками из терморасширенного графита, в том числе с контактирующими фланцами, следует проводить на основании экспериментальных данных, определенных в соответствии с требованиями 4.5 и (или) в соответствии с документами по стандартизации для уплотнений с применением терморасширенного графита, данные в которых определены в соответствии с 4.5.

5 Расчет коэффициента нагрузки

5.1 Коэффициент нагрузки χ учитывает влияние внутреннего давления на усилия в шпильках (болтах) и на прокладки предварительно затянутого разъемного соединения. Коэффициент нагрузки χ численно равен доле гидростатического усилия, передаваемой на шпильки (болты).

5.2 Коэффициент нагрузки χ определяют по формуле

$$\chi = \frac{\lambda_{pr} + \lambda_r}{\lambda_{pr} + \lambda_r + \lambda_w + \lambda_b + \lambda_f}. \quad (5.1)$$

5.3 Для фланцевого соединения с клиновой прокладкой [см. рисунок 4.1б)] следует принимать $\lambda_{pr} = 0$.

5.4 Для типовых компонентов разъемных соединений коэффициенты податливости допускается определять по формулам, приведенным в таблице А.1 приложения А. Также допускается определять значения коэффициентов податливости численными методами, например МКЭ.

6 Расчет усилия, вызванного температурным воздействием

6.1 Усилие в шпильках или болтах, вызванное температурными перепадами в компонентах и (или) различием коэффициентов линейного температурного расширения материалов компонентов соединения, следует определять по формуле

$$F_T = \frac{\Delta_h - \Delta_l}{\lambda_{pr} + \lambda_r + \lambda_w + \lambda_b + \lambda_f}, \quad (6.1)$$

где Δ_h — суммарное осевое температурное удлинение компонентов, сжатых при затяжке соединения (крышки, прокладки, нажимного фланца, втулки, опорного бурта) на отрезке между опорным буртом и нижним торцом гайки, мм;

Δ_l — суммарное осевое температурное удлинение компонентов, растянутых при затяжке соединения на отрезке между опорным буртом и нижним торцом гайки, мм.

Пример разбивки соединения по участкам для вычисления температурных расширений показан на рисунке 4.1а). Для данного примера:

$$\Delta_l = \alpha_1 \cdot l_1 \cdot T_1 + \alpha_2 \cdot l_2 \cdot T_2,$$
$$\Delta_h = \alpha_3 \cdot h_3 \cdot T_3 + \alpha_4 \cdot h_4 \cdot T_4 + \alpha_5 \cdot h_5 \cdot T_5 + \alpha_6 \cdot h_6 \cdot T_6 + \alpha_7 \cdot h_7 \cdot T_7, \quad (6.2)$$

где α_i — коэффициенты линейного расширения материала;

l_i, h_i — длины участков;

T_i — средние температуры на участках.

6.2 Значения модуля упругости и коэффициента линейного расширения материалов прокладок следует принимать по документам по стандартизации на уплотнительное изделие. При отсутствии в указанных документах необходимых данных допускается руководствоваться данными, приведенными в таблице Б.1 приложения Б, либо полученными экспериментально.

6.3 Коэффициенты податливости λ_w, λ_b, λ_{pr}, λ_r и λ_f следует определять в соответствии с 5.4.

6.4 Допускается определение F_T численными методами, например МКЭ.

7 Расчет коэффициента нагрузки и усилия, вызванного температурным воздействием, численным методом

Допускается определять коэффициент нагрузки χ и усилие, вызванное температурным воздействием F_T, при помощи численного расчета (например, по МКЭ) НДС разъемного соединения в сборе, без определения коэффициентов податливости каждой детали в отдельности. Расчет следует проводить в следующем порядке:

1) в начале расчета усилие начальной затяжки шпилек (болтов) следует принять равным

$$F_{0w} = F_{pr.h} + F_{ph}; \quad (7.1)$$

2) численным методом следует рассчитывать усилия в шпильках при действии, соответственно, эксплуатационных давления и температуры $F_{w.p}$, и при действии давления испытания $F_{w.h}$;

3) с использованием полученных значений $F_{w.p}$ и $F_{w.h}$ следует определить коэффициент нагрузки χ и температурное усилие F_T, соответственно, по формулам:

$$\chi = \frac{F_{w.h} - F_{0w}}{F_{ph}}, \quad (7.2)$$

$$F_T = F_{w.p} - F_{0w} - \chi F_p; \quad (7.3)$$

4) усилие начальной затяжки шпилек (болтов) F_{0w} следует определять согласно 8.6 для полученных по формулам (7.2) и (7.3) значений χ и F_T.

Если в результате численного расчета коэффициент нагрузки χ принимает отрицательное значение, то усилие начальной затяжки F_{0w} следует выбирать согласно 8.7.

8 Расчет усилия начальной затяжки шпилек (болтов)

8.1 Начальную затяжку разъемного соединения следует производить для устранения неплотности прилегания прокладки к уплотняемым поверхностям (обжатия прокладки) и обеспечения нераскрытия стыка и плотности соединения в условиях эксплуатации и при испытании.

8.2 Усилие, обеспечивающее обжатие прокладки, следует определять по формуле

$$F_{ob} = \pi D_{pr} b q_0. \quad (8.1)$$

8.3 Необходимые для обеспечения плотности усилия на прокладку при эксплуатационном давлении $F_{pr.p}$ и давлении испытания $F_{pr.h}$ следует определять по формулам:

$$F_{pr.p} = \pi D_{pr} b m p, \quad (8.2)$$

$$F_{pr.h} = \pi D_{pr} b m p_h. \quad (8.3)$$

Для соединений с клиновой прокладкой следует принимать

$$F_{pr.p} = F_{pr.h} = 0. \quad (8.4)$$

8.4 Значения параметров b, q_0 и m следует принимать по документам по стандартизации на уплотнительное изделие. При отсутствии в указанных документах необходимых данных допускается руководствоваться данными, приведенными в таблице В.1 приложения В либо полученными экспериментально.

8.5 Гидростатические усилия от эксплуатационного давления F_p и давления испытания F_{ph} следует определять по формулам:

$$F_p = \frac{\pi}{4} D_{pr}^2 p, \quad (8.5)$$

$$F_{ph} = \frac{\pi}{4} D_{pr}^2 p_h. \quad (8.6)$$

8.6 Усилие начальной затяжки шпилек (болтов) F_{0w} должно удовлетворять условиям обжатия прокладки и плотности соединения в условиях эксплуатации и при испытании:

$$F_{0w} \geq F_{ob}, \quad (8.7)$$

$$F_{0w} \geq F_{pr.h} + (1 - \chi) \cdot F_{ph}, \quad (8.8)$$

$$F_{0w} \geq F_{pr.p} + (1 - \chi) \cdot F_p - F_T. \quad (8.9)$$

Для выбранного значения F_{0w} необходимо выполнение условий по удельному давлению на контактирующие поверхности прокладок при затяжке, испытании и в условиях эксплуатации согласно 9.5.

8.7 Допускается выбирать усилие начальной затяжки F_{0w} при помощи численного расчета (например, по МКЭ) НДС разъемного соединения в сборе. Усилия в шпильках (болтах) и на прокладке в этом случае необходимо определять непосредственно по результатам расчета, вместо формул в разделах 9 и 10. Выбранное значение усилия начальной затяжки F_{0w} должно удовлетворять условию обжатия прокладки (8.7). Также должны быть выполнены следующие условия плотности соединения в условиях эксплуатации и при испытании:

$$F_{pr} \geq F_{pr.h}, \quad (8.10)$$

$$F_{pr} \geq F_{pr.p}. \quad (8.11)$$

Для выбранного значения F_{0w} необходимо выполнение условий по удельному давлению на контактирующие поверхности прокладок при затяжке, испытании и в условиях эксплуатации согласно 9.5.

8.8 Допускается определять усилие начальной затяжки F_{0w}, обеспечивающее плотность соединения в условиях эксплуатации и испытаний, при помощи натурного эксперимента. Расчет усилий $F_{pr.p}$ и $F_{pr.h}$ в этом случае не выполняется.

9 Расчет усилий на прокладке

9.1 Усилие на прокладке F_{pr} при затяжке шпилек (болтов) следует определять по формуле

$$F_{pr} = F_{0w}. \quad (9.1)$$

9.2 Усилие на прокладке F_{pr} при испытании следует определять по формулам:

- для соединений с плоской или профильной прокладкой

$$F_{pr} = F_{0w} - (1 - \chi) \cdot F_{ph}; \quad (9.2)$$

- для соединений с клиновой прокладкой

$$F_{pr} = F_{0w} + \chi \cdot F_{ph}. \quad (9.3)$$

9.3 Усилие на прокладке F_{pr} в условиях эксплуатации следует определять по формулам:
- для соединений с плоской или профильной прокладкой

$$F_{pr} = F_{0w} - (1 - \chi) \cdot F_p + F_T; \quad (9.4)$$

- для соединений с клиновой прокладкой

$$F_{pr} = F_{0w} + \chi \cdot F_p + F_T. \quad (9.5)$$

9.4 Удельное давление q на контактных поверхностях прокладок следует определять по формулам:
- в соединениях с плоской или профильной прокладкой

$$q = \frac{F_{pr}}{\pi D_{pr} b}; \quad (9.6)$$

- в соединениях с клиновой прокладкой на плоской контактной поверхности прокладки

$$q = \frac{F_{pr}}{\pi D_{pr} (b_1 - b_1')}; \quad (9.7)$$

- в соединениях с клиновой прокладкой на конусной контактной поверхности прокладки

$$q = \frac{F_{pr}}{2\pi D_{pr} (b_1 - b_1') \cdot \sin\alpha}; \quad (9.8)$$

- в соединениях с клиновой прокладкой на цилиндрической контактной поверхности прокладки

$$q = \frac{F_{pr}}{\pi(D_{pr} + b_2 \sin\alpha)(h_1 - h_1') \operatorname{tg}\alpha}. \quad (9.9)$$

9.5 Необходимо выполнение следующих условий:
- для обеспечения плотности соединения при испытании и в условиях эксплуатации

$$q \geq q_{\min}; \quad (9.10)$$

- для обеспечения прочности и работоспособности прокладки при затяжке, испытании и в условиях эксплуатации

$$q \leq q_{\max}. \quad (9.11)$$

В соединениях с клиновой прокладкой [см. рисунок 4.1б)] на плоской контактной поверхности прокладки следует проверять только условие прочности и работоспособности (9.11).

Значения $q_{\min}$ и $q_{\max}$ следует принимать по документам по стандартизации на уплотнительное изделие. При отсутствии в указанных документах необходимых данных допускается руководствоваться данными, приведенными в таблице Б.1 приложения Б либо полученными экспериментально.

В случае, если проверка по удельному давлению на контактирующие поверхности прокладки дает отрицательные результаты, следует выполнить конструктивные изменения соединения или изменить его температурные режимы. Для выполнения условия (9.10) допускается увеличение усилия начальной затяжки F_{0w}.

После выполнения изменений необходимо повторное проведение расчета.

10 Расчет усилий в шпильках (болтах)

10.1 Усилие в шпильках (болтах) F_w при затяжке следует определять по формуле

$$F_w = F_{0w}. \quad (10.1)$$

10.2 Усилие в шпильках (болтах) F_w при испытании следует определять по формуле

$$F_w = F_{0w} + \chi \cdot F_{ph}. \quad (10.2)$$

10.3 Усилие в шпильках (болтах) F_w в условиях эксплуатации следует определять по формуле

$$F_w = F_{0w} + \chi \cdot F_p + F_T. \quad (10.3)$$

10.4 Если усилие начальной затяжки F_{0w} выбрано при помощи численного расчета согласно требованиям 8.7, усилие в шпильках (болтах) при испытании и в условиях эксплуатации следует определять непосредственно по результатам расчета.

11 Расчет усилий в условиях ползучести

11.1 Выбор усилия начальной затяжки F_{0w} и расчет усилий в компонентах соединений, температура эксплуатации которых превышает T_t, следует проводить с учетом ползучести (релаксации) с целью обеспечения плотности соединения.

Допускается проводить расчет численным методом (например, МКЭ).

11.2 Выбранное значение усилия начальной затяжки F_{0w} должно удовлетворять условию обжатия прокладки (8.7). Расчетом должно быть показано, что с учетом релаксации вследствие ползучести условия плотности соединения:

$$F_{pr} \geq F_{pr.h}, \quad (11.1)$$

$$F_{pr} \geq F_{pr.p}, \quad (11.2)$$

а также условия по удельному давлению на контактирующие поверхности прокладок согласно 9.5 выполнены. При расчете усилий в соединении следует учитывать проектную длительность нагружения в условиях эксплуатации при температуре выше T_t и последовательность режимов эксплуатации и испытаний.

11.3 При температуре выше T_t в расчете следует использовать значения длительных механических характеристик материалов и релаксационной стойкости в соответствии с ГОСТ Р 59115.4.

12 Расчет напряжений в шпильках

12.1 Расчет напряжений в стержне шпильки

12.1.1 Крутящий момент $M_к$, действующий на шпильку при затяжке гаек ключом, следует определять по формуле

$$M_к = \zeta \cdot F_{0w} \cdot d_0/z, \quad (12.1)$$

где ζ рекомендуется определять по таблице 12.1.

12.1.2 Момент на ключе при затяжке гаек $M_{кл}$ следует определять по формуле

$$M_{кл} = \zeta_1 \cdot F_{0w} \cdot d_0/z, \quad (12.2)$$

где ζ_1 определяют по таблице 12.1.

При затяжке шпилек с предварительной вытяжкой или с разогревом $M_{кл} = 0$.

Допускается использовать значения коэффициентов ζ и ζ_1, определенные экспериментально.

Таблица 12.1 — Значения коэффициентов ζ и ζ_1

Наличие смазки	ζ	ζ_1
Имеется	0,13	0,26
Отсутствует	0,18	0,37

12.1.3 Изгибающие моменты в шпильках M_1 и M_2 следует определять по формулам:

$$M_1 = E_w \cdot J \cdot \left[\frac{6K_3}{l_w^2}(w_2 - w_1) + \frac{4K_1}{l_w} \cdot \vartheta_1 + \frac{2K_2}{l_w} \cdot \vartheta_2 \right], \quad (12.3)$$

$$M_2 = E_w \cdot J \cdot \left[\frac{6K_3}{l_w^2}(w_2 - w_1) + \frac{2K_2}{l_w} \cdot \vartheta_1 + \frac{4K_1}{l_w} \cdot \vartheta_2 \right], \quad (12.4)$$

где $J = \pi(d_w^4 - d_c^4)/64$ — момент инерции сечения стержня шпильки при изгибе;

K_1, K_2, K_3 — характеристики гибкости стержня шпильки:

$K_1 = K_2 = K_3 = 1$ для $\gamma = l_w\sqrt{\dfrac{F_w}{E_w Jz}} < 1$;

$$K_1 = 1 + \frac{\gamma^2}{40};\ K_2 = 1 - \frac{\gamma^2}{16\gamma + 35};\ K_3 = 1 + \frac{\gamma^2}{70}\ \text{для}\ 1 \le \gamma \le 6;$$

$$K_1 = \frac{\gamma(\gamma - 1)}{4(\gamma - 2)};\ K_2 = \frac{\gamma}{2(\gamma - 2)};\ K_3 = \frac{\gamma^2}{6(\gamma - 2)}\ \text{для}\ \gamma > 6;$$

w_1, w_2, ϑ_1, ϑ_2 следует определять из условия совместности деформаций соединения.

Принятые в формулах положительные направления перемещений и углов поворота указаны на рисунке 12.1.

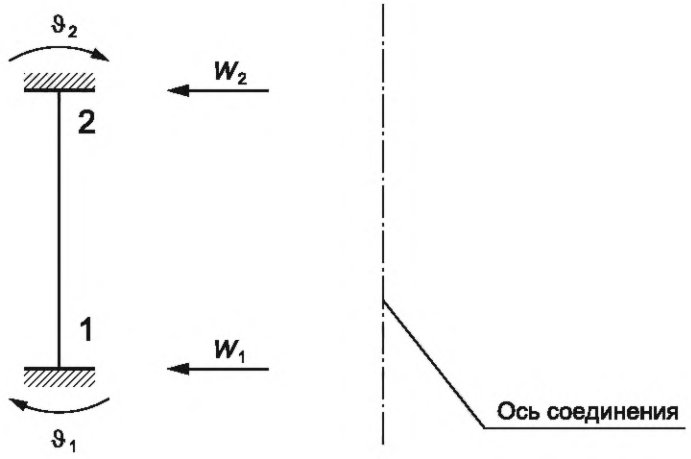


Рисунок 12.1 — Положительные направления перемещений и углов поворота шпильки

12.1.4 Напряжение растяжения σ_{mw} следует определять по формуле

$$\sigma_{mw} = \frac{F_w}{A_w z}, \tag{12.5}$$

где $A_w = \pi(d_1^2 - d_c^2)/4$ — площадь поперечного сечения стержня шпильки.

12.1.5 Напряжение кручения τ_{sw} следует определять по формуле

$$\tau_{sw} = M_к/W_к, \tag{12.6}$$

где $W_к = \pi(d_1^3 - d_c^3)/16$ — момент сопротивления сечения стержня шпильки при кручении.

12.1.6 Напряжение изгиба σ_{bw} следует определять по формуле

$$\sigma_{bw} = M/W, \tag{12.7}$$

где $M = \max\{|M_1|, |M_2|\}$ — максимальный изгибающий момент в шпильке;

$W = \pi(d_1^3 - d_c^3)/32$ — момент сопротивления сечения стержня шпильки при изгибе.

12.1.7 Если усилие начальной затяжки выбрано при помощи численного расчета разъемного соединения в сборе, допускается определять напряжения в шпильках (болтах) непосредственно по результатам расчета.

12.1.8 Приведенные напряжения группы категорий $(\sigma)_{4w}$ следует определять по формуле

$$(\sigma)_{4w} = \sqrt{(\sigma_{mw} + \sigma_{bw})^2 + 4\tau_{sw}^2}. \tag{12.8}$$

12.2 Расчет напряжений в резьбах

Напряжение среза резьбы следует определять по формулам:
- для шпильки (болта)

$$\tau_{sb} = \frac{F_w}{\pi d_1 h_w z K_{1b}}; \quad (12.9)$$

- для фланца (гайки)

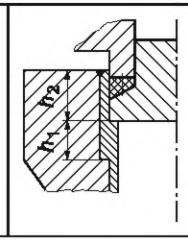
$$\tau_{sn} = \frac{F_w}{\pi d_0 h_w z K_{1n}}, \quad (12.10)$$

где K_{1b}, K_{1n} — коэффициенты полноты резьбы шпильки и гайки:
$K_{1b} = K_{1n} = 0,4$ — для прямоугольной резьбы;
$K_{1b} = K_{1n} = 0,65$ — для трапецеидальной резьбы;
$K_{1b} = 0,75$ — для метрической резьбы шпильки (болта);
$K_{1n} = 0,87$ — для метрической резьбы гайки (фланца).

Приложение А
(рекомендуемое)

Формулы для расчета коэффициентов податливости

Таблица А.1 — Формулы расчета коэффициентов податливости типовых компонентов разъемных соединений

Компонент	Коэффициент податливости	Примечание
Фланец нажимной	$\lambda_f = \frac{R_c a^2}{2\pi E_f J_f}$; $\lambda_{fp} = 0$	$a = \frac{D_w - D_{pr}}{2}$ — плечо осевой силы; R_c — радиус центра масс сечения фланца; J_f — момент инерции сечения относительно центра масс.
Бурт опорный с антикоррозионной рубашкой 	$\lambda_r = \frac{h_1}{E_r\left(1+\frac{h_1 A_2}{h_2 A_1}\right)A_1}$	h_1, h_2 — высота элемента рубашки; A_1, A_2 — площадь поперечного сечения элемента рубашки. Для бурта без антикоррозионной рубашки принимается $\lambda_r = 0$.
Прокладка	$\lambda_{pr} = \frac{h_{pr}}{E_{pr} \cdot A_{pr}}$	$A_{pr} = 2\pi \cdot R_{pr} \cdot b$. Для комбинированных прокладок расчет проводится с модулем упругости материала уплотняющего наполнителя.
Шпилька, болт	$\lambda_w = \frac{l_w + \psi d_w}{z E_w A_w}$	ψ = 0,6 для шпильки; ψ = 0,3 для болта. Допускается использовать значения ψ, определенные экспериментально; $A_w = \pi \cdot d_w^2/4$.
Шайба (втулка)	$\lambda_b = \frac{h_b}{z E_b A_b}$	h_b, A_b — высота и площадь сечения шайбы соответственно.

Приложение Б
(справочное)

Характеристики прокладочных материалов

Таблица Б.1 — Значения E_{pr}, α_{pr}, q_{min}, q_{max} для материалов прокладок

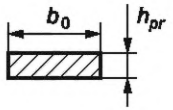
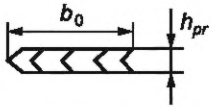
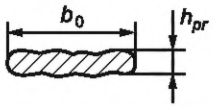
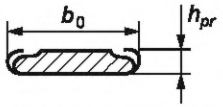
Материал прокладки	E_{pr}, МПа	α_{pr}, 10^{-6} 1/ °С	q_{min}, МПа	q_{max}, МПа
Резина твердая	10	200	3,5	20
Фторопласт	650	120	4	40
Паронит	2000	15	10	110
Алюминий и его сплавы	$0{,}7 \cdot 10^5$	24	50	140
Медь и ее сплавы	$1{,}1 \cdot 10^5$	19	70	200
Никель и его сплавы	$1{,}8 \cdot 10^5$	16	70	200
Перлитная сталь	$2 \cdot 10^5$	13,5	80	350
Аустенитная сталь	$2 \cdot 10^5$	17,5	100	600

Примечание — При уплотнении воздуха или пара значение q_{min} должно быть увеличено в 1,8 раза, а для сред с высокой проникающей способностью (водород, гелий и т. п.) — в 2,5 раза.

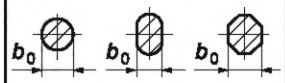
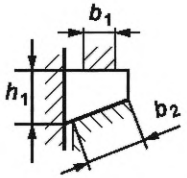
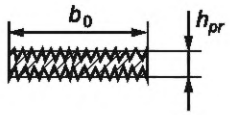
Приложение В
(рекомендуемое)

Значения параметров b, m и q_0 для различных типов прокладок

Таблица В.1 — Значения b, m и q_0 для различных типов прокладок

Тип прокладки	Конструкция прокладки	Материал	Эффективная ширина b, мм	Рабочая среда					
				Жидкие среды		Воздух, пар, пароводяная смесь		Газы с высокой проникающей способностью (водород, гелий и т.д.)	
				m	q_0, МПа	m	q_0, МПа	m	q_0, МПа
Мягкая	Плоская 	Резина твердая	b_0	1,2	5,0	2,2	9,0	3,0	13,0
		Фторопласт		1,4	10,0	2,5	18,0	3,1	26,0
		Паронит	b_0 при $b_0 \le 10$ $\sqrt{10b_0}$ при $b_0 > 10$	1,6	$\frac{80}{\sqrt{10h_{pr}}}$	2,9	$\frac{100}{\sqrt{10h_{pr}}}$	4,0	$\frac{130}{\sqrt{10h_{pr}}}$
Комбинированная	Спиральная 	Сталь перлитного класса	b_0	1,5	27	2,5	50	4	70
	Гофрированная 	Алюминий, его сплавы	b_0	1,75	20,0	3,0	30,0	4,25	42,0
		Медь и ее сплавы		1,9	20,0	3,25	35,0	4,5	50,0
		Сталь перлитного класса		2,0	22,0	3,5	40,0	5,0	55,0
	С наружной металлической оболочкой 	Алюминий, его сплавы	b_0	1,9	27,0	3,25	50,0	4,5	70,0
		Медь и ее сплавы		2,0	32,0	3,5	60,0	5,0	80,0
		Сталь перлитного класса		2,25	38,0	3,75	70,0	5,5	100,0

Окончание таблицы В.1

Тип прокладки	Конструкция прокладки	Материал	Эффективная ширина b, мм	Рабочая среда					
				Жидкие среды		Воздух, пар, пароводяная смесь		Газы с высокой проникающей способностью (водород, гелий и т.д.)	
				m	q_0, МПа	m	q_0, МПа	m	q_0, МПа
Металлическая	Профилированная 	Медь и ее сплавы, никель и его сплавы	0,6 b_0	2,5	2,5 $R_{p0,2}$	4,5	3 $R_{p0,2}$	6,0	4 $R_{p0,2}$
		Сталь перлитного класса		3,0		5,0		7,0	
		Сталь аустенитного класса		3,5		6,0		8,0	
	Плоская (клиновая) 	Алюминий и его сплавы	b_0 при $b_0 \le 10$ $\sqrt{10 b_0}$ при $b_0 > 10$	2,0	$\left(0,8+0,26\frac{b_0}{h_{pr}}\right)\times R_{p0,2}$	3,5	$\left(1+0,32\frac{b_0}{h_{pr}}\right)\times R_{p0,2}$	5,0	$\left(1,3+0,42\frac{b_0}{h_{pr}}\right)\times R_{p0,2}$
		Медь и ее сплавы, никель и его сплавы		2,5		4,5		6,0	
		Сталь перлитного класса		3,0		5,0		7,0	
		Сталь аустенитного класса		3,5		6,0		8,0	
	Зубчатая с числом зубцов z_n 	Медь и ее сплавы, никель и его сплавы	$0,5\sqrt{z_n}$	1,8	2,5 $R_{p0,2}$	3,3	3 $R_{p0,2}$	4,6	4 $R_{p0,2}$
		Сталь перлитного класса		2,25		3,75		5,5	
		Сталь аустенитного класса		2,5		4,25		6,0	

Примечание — Для клиновой прокладки $b_0 = \max\{b_2 \cdot \sin\alpha;\ h_1 \cdot \mathrm{tg}\,\alpha\}$; при наличии проточек на прокладке или контактирующих поверхностях вместо значений h_1, b_1, b_2 следует использовать соответственно $(h_1 - h_1')$, $(b_1 - b_1')$, $(b_2 - b_2')$; при определении q_0 принимают $h_{pr} = b_0$.

Библиография

[1] Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии НП-089-15 Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок

УДК 621.039:531:006.352 ОКС 27.120.10

Ключевые слова: прочность, оборудование и трубопроводы, атомные энергетические установки, разъемные соединения, фланцы

Редактор *Н.В. Таланова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *О.В. Лазарева*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 29.11.2021. Подписано в печать 23.12.2021. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 1,90.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «РСТ»
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