ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 50.05.21— 2019

Система оценки соответствия в области использования атомной энергии

НОРМЫ ДОПУСТИМЫХ НЕСПЛОШНОСТЕЙ ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА, СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И НАПЛАВЛЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

Порядок разработки

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2019

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Акционерным обществом «Российский концерн по производству электрической и тепловой энергии на атомных станциях» (АО «Концерн Росэнергоатом»)

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 9 апреля 2019 г. № 123-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*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

© Стандартинформ, оформление, 2019

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 и определения 2
4 Обозначения и сокращения 2
5 Общие положения 3
6 Исходные данные для разработки Норм 4
7 Порядок разработки Норм 4
8 Расчет допустимых размеров несплошностей 4
Приложение А (рекомендуемое) Вид норм допустимых размеров несплошностей 8
Приложение Б (рекомендуемое) Процедура определения остаточных напряжений 9
Приложение В (рекомендуемое) Расчет кинетики несплошностей 10
Библиография 13

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Система оценки соответствия в области использования атомной энергии

НОРМЫ ДОПУСТИМЫХ НЕСПЛОШНОСТЕЙ ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА, СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И НАПЛАВЛЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

Порядок разработки

Conformity assessment system for the use of nuclear energy. Norms of allowable discontinuities of the base metal, welded joints and deposited surfaces of equipment, pipelines of nuclear power plants. Development procedure

Дата введения — 2019—08—01

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает порядок разработки и применения норм допустимых несплошностей в основном металле, сварных соединениях и наплавленных поверхностях (далее — металле) оборудования, трубопроводов и других элементов атомных станций при проведении оценки соответствия в форме контроля при эксплуатации, проводимого в соответствии с федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии [1], устанавливающими правила контроля металла при эксплуатации.

1.2 Настоящий стандарт предназначен для разработки норм допустимых несплошностей в металле оборудования, трубопроводов и других элементов атомных станций, для которых в [1] не установлены нормы оценки их качества.

1.3 Настоящий стандарт распространяется на оборудование, трубопроводы и другие элементы атомных станций (за исключением корпуса реактора) с реакторными установками типа водо-водяной энергетический реактор, реактор большой мощности канальный и энергетический гетерогенный петлевой реактор с шестью петлями циркуляции теплоносителя.

1.4 Настоящий стандарт может применяться для исследовательских ядерных установок, при условии его включения в состав проектной или конструкторской документации.

1.5 Настоящий стандарт не применяется для разработки норм толщин стенок с механизмами деградации, которые приводят к изменению толщины стенки оборудования, трубопроводов и других элементов атомных станций в процессе эксплуатации (например, эрозионно-коррозионный износ, кавитация, эрозия и т. д.).

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использована нормативная ссылка на следующий стандарт:

ГОСТ Р 50.05.15 Система оценки соответствия в области использования атомной энергии. Оценка соответствия в форме контроля. Неразрушающий контроль. Термины и определения.

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 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

Издание официальное

утверждения. 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 и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 50.05.15, [1], а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **доминирующий механизм деградации:** Один из нескольких механизмов деградации, старения, повреждений металла, приводящий к наиболее быстрому росту несплошности.

3.2 **критический размер несплошности:** Геометрические размеры несплошности, которые определены без коэффициентов запаса прочности.

3.3 **нормы допустимой несплошности:** Допустимые геометрические размеры несплошности металла оборудования, трубопроводов и других элементов атомных станций.

3.4 **расчетная несплошность:** Используемая в расчете несплошность, представленная в виде трещины.

4 Обозначения и сокращения

4.1 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

АС — атомная станция;

ГИ — гидравлические испытания;

КИН — коэффициент интенсивности напряжений;

МГИ —металлографические исследования;

МКЭ — метод конечных элементов;

МРЗ — максимальное расчетное землетрясение;

НДС — напряженно-деформированное состояние;

НУЭ — нормальные условия эксплуатации;

ПКД — проектная и конструкторская документация.

4.2 Обозначения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения:

a — высота поверхностной расчетной несплошности, м;

c — полудлина расчетной несплошности, м;

s — толщина стенки, м;

$[K_I]$ — допускаемое значение коэффициента интенсивности напряжений, МПа · м$^{1/2}$;

K_I — коэффициент интенсивности напряжений для трещины нормального отрыва, МПа·м$^{1/2}$;

$T_к$ — критическая температура хрупкости материала, °С;

T — температура, °С;

K_{IC} — критический коэффициент интенсивности напряжений для трещины нормального отрыва, МПа · м$^{1/2}$;

$n_к$ — коэффициент запаса для коэффициента интенсивности напряжений;

ΔT — температурный запас для коэффициента интенсивности напряжений, °С;

J — значение J-интеграла, Н/мм;

$[J]$ — допускаемое значение J-интеграла, Н/мм;

J_c — критическое значение J-интеграла, Н/мм;

n_j — коэффициент запаса для J-интеграла;

$[a]_c$, $[c]_a$ — максимально допустимые размеры расчетной несплошности, м;

Δa, Δc — увеличение размеров расчетной несплошности при циклическом и статическом нагружении, м;

R — радиус трубопровода, м;

σ_m — общие мембранные напряжения, МПа;

σ_b — общие изгибные напряжения, МПа;

$R^T_{p0,2}$ — предел текучести при расчетной температуре, МПа;

R^T_m — предел прочности при расчетной температуре, МПа;

n_a, n_φ, n_c — коэффициенты запаса для методики по предельным пластическим состояниям;

$(\sigma_{ii})^{н}_{ост}$ — остаточные напряжения до проведения гидравлических испытаний ($(\sigma_{ii})^{н}_{ост} = R^{ф}_{p0,2}$), МПа;

$\sigma^{ГИ}_{ii}$ — мембранные напряжения, вызванные гидравлическими испытаниями;

$(\sigma^{ГИ}_{ii})^{н}_{ост}$ — остаточные напряжения после проведения гидравлических испытаний, МПа;

$R^{ф}_{p0,2}$ — фактическое значение предела текучести, МПа;

$\sigma^{ом}_{ост}$ — остаточные напряжения в основном металле, МПа;

s_w — толщина шва, м;

x — координата по нормали к поверхности, м;

R — коэффициент асимметрии цикла напряжений;

N — количество циклов нагружения элемента конструкции в эксплуатации;

t — длительность статического нагружения, с;

$\frac{da}{dt}\ \left(\frac{dc}{dt}\right)$ — скорость роста трещины для статического нагружения, м/с;

K_{st} — значение коэффициента интенсивности напряжений при статическом нагружении, МПа · м$^{1/2}$;

C_{st}, n — характеристики диаграммы коррозионно-статического разрушения;

$\frac{da}{dN}\ \left(\frac{dc}{dN}\right)$ — скорость роста трещины для циклического нагружения, м/с;

ΔK — размах коэффициента интенсивности напряжений, МПа · м$^{1/2}$;

C_0, m — характеристики кинетической диаграммы усталостного разрушения;

K_{min}, K_{max} — минимальное и максимальное значения коэффициента интенсивности напряжений, МПа · м$^{1/2}$;

n_{aN}, n_{cN} — коэффициенты запаса на прирост размеров трещины a и c соответственно при циклическом нагружении;

n_{aS}, n_{cS} — коэффициенты запаса на прирост размеров трещины a и c соответственно при статическом нагружении.

5 Общие положения

5.1 Нормы допустимых размеров несплошностей металла оборудования, трубопроводов и других элементов АС (далее — Нормы) применяются при проведении эксплуатационного неразрушающего контроля для оценки результатов контроля.

5.2 При разработке Норм должны быть проанализированы механизмы образования и развития дефектов с учетом норм и правил [2].

5.3 Нормы необходимо определять по доминирующему механизму повреждения (деградации) с учетом опыта эксплуатации на основании критериев прочности с учетом скорости развития несплошностей. Нормы могут определяться как на весь срок службы, так и на межконтрольный период.

5.4 При сравнении Норм с результатами неразрушающего контроля необходимо учитывать погрешности измерений, установленные для методик контроля, входящих в систему неразрушающего контроля.

5.5 При разработке Норм должны использоваться значения механических и физических свойств, характеристики статической и циклической трещиностойкости основного металла, металлов сварных соединений и металла наплавленных поверхностей с учетом их прогнозируемого состояния до следующего контроля или на весь срок эксплуатации.

6 Исходные данные для разработки Норм

Исходными данными для разработки Норм являются:

- данные ПКД;
- наименование контролируемого элемента;
- данные проектно-конструкторских чертежей и фактические геометрические размеры оборудования, трубопровода или другого элемента АС;
- фактические значения механических и физических свойств, характеристики статической и циклической трещиностойкости сталей для основного металла, металлов сварных соединений и металла наплавленных поверхностей, при их отсутствии — данные документов по стандартизации с учетом деградации свойств основного металла;
- способ изготовления сварного соединения и способ нанесения наплавленных поверхностей (при их наличии);
- условия проведения термической обработки после изготовления сварного соединения и/или нанесения наплавленной поверхности;
- условия эксплуатации элемента (температура, давление, весовые нагрузки, параметры среды);
- срок службы с момента ввода в эксплуатацию, с момента замены или ремонта оборудования, трубопровода или другого элемента АС;
- данные предэксплуатационного и эксплуатационного контроля исследуемого контролируемого элемента;
- опыт эксплуатации сварных соединений (наличие, особенности и размеры обнаруженных несплошностей), данные МГИ (при наличии).

7 Порядок разработки Норм

7.1 Порядок разработки Норм должен включать:

- определение расчетной зоны оборудования или трубопровода;
- определение расчетных значений геометрических размеров рассчитываемого элемента. При этом необходимо учитывать влияние коррозии, эрозии или их сочетание на весь период планируемой эксплуатации, а при использовании фактических значений необходимо еще учитывать погрешности измерений;
- определение расчетных значений механических и физических свойств, характеристик статической и циклической трещиностойкости с учетом возможных и/или фактических механизмов деградации металла, металла сварного соединения и металла наплавленных поверхностей на период планируемой эксплуатации;
- определение НДС для расчетной зоны оборудования, трубопровода для режимов эксплуатации НУЭ, ГИ и НУЭ в сочетании с МРЗ с указанием граничных условий;
- определение расчетных значений остаточных напряжений в основном металле, металле сварного соединения и металле наплавленных поверхностей;
- расчет допустимых размеров несплошностей на прогнозируемый момент времени.

7.2 Нормы рекомендуется оформлять в виде, представленном в приложении А.

8 Расчет допустимых размеров несплошностей

8.1 Общие положения

8.1.1 Расчеты допустимых размеров несплошностей необходимо проводить с использованием:

- КИН — только для элементов, которые находятся в хрупком/квазихрупком состоянии в процессе эксплуатации;
- критериев предельно-пластических состояний — только для элементов, которые находятся в вязком состоянии в процессе эксплуатации;
- *J*-интеграла — для элементов, которые находятся в хрупком (квазихрупком) или вязком состоянии в процессе эксплуатации.

8.1.2 Расчеты допустимых размеров несплошностей необходимо проводить для поверхностных и подповерхностных несплошностей, ориентированных в продольном и поперечном направлении.

8.1.3 Для случая поверхностной несплошности в качестве расчетной принимается полуэллиптическая трещина с полуосями a и c, выходящая на поверхность рассматриваемой зоны.

Для случая подповерхностной несплошности в качестве расчетной принимается поднаплавочная полуэллиптическая трещина, локализованная в основном металле (или в сварном шве), малая ось которой перпендикулярна поверхности стенки рассматриваемой зоны и контур трещины (берега) соприкасается с поверхностью раздела «основной металл (или сварной шов) — антикоррозионная наплавка».

8.2 Расчет допустимых размеров несплошностей по критериям сопротивления разрушению

8.2.1 Допустимые размеры расчетной несплошности определяются из соотношения сопротивления хрупкому разрушению с использованием КИН

$$K_I = [K_I]. \quad (1)$$

8.2.2 Зависимость $[K_I]$ от $[T - T_K]$ получают как огибающую двух кривых, определяемых по исходной температурной зависимости K_{IC}. Одна из этих кривых получается делением ординат исходной кривой на коэффициент запаса n_k, другая — смещением исходной кривой вдоль оси абсцисс на значение температурного запаса ΔT.

Значения коэффициентов запаса n_k и температурного запаса ΔT для различных режимов нагружения элемента (компонента) приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Значения коэффициента запаса n_k и температурного запаса ΔT

Режим нагружения	n_k	ΔT
НУЭ*	2	30
ГИ*	1,5	30
НУЭ в сочетании с МРЗ*	1,0	0
* Категории режимов применяются в соответствии с проектом.		

8.2.3 Для определения допустимых размеров несплошностей с использованием J-интеграла используется условие

$$J = [J], \quad (2)$$

где $[J] = \frac{j_c}{n_j}$, а n_j — определяется в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2 — Значения коэффициента запаса n_j

Режим нагружения	n_j
НУЭ*	2
ГИ*	1,5
НУЭ в сочетании с МРЗ*	1,0
* Категории режимов применяются в соответствии с проектом.	

8.2.4 Исходные температурные зависимости K_{IC} или J_c принимаются по данным, приведенным в соответствующих аттестационных отчетах по материалам (основной металл, сварные соединения), или по техническим решениям, согласованным с головной материаловедческой организацией, или по федеральным нормам и правилам в области использования атомной энергии, устанавливающим требования к проведению расчета на прочность оборудования, трубопроводов и других элементов АС.

Допускается применять зависимости K_{IC} или J_c, полученные с использованием архивного материала конкретного оборудования и трубопроводов на представительном количестве образцов, в соответствии с требованиями документов по стандартизации.

8.2.5 При расчете допустимых размеров несплошностей в случае подповерхностной несплошности остаточные напряжения, вызванные наплавленной поверхностью, не учитывают, а для случая поверхностной несплошности их необходимо учитывать. Для консервативного учета рекомендуется использовать процедуру, указанную в приложении Б.

8.2.6 При оценке сопротивления разрушению несплошности, располагающейся в металле наплавленных поверхностей, допускается использовать J_R-кривые. Если такие кривые отсутствуют, то допускается принимать, что характеристики сопротивления разрушения металла наплавленных поверхностей соответствуют характеристикам основного металла.

8.2.7 Расчет КИН или *J*-интеграла необходимо проводить в соответствии с требованиями документов по стандартизации по расчету на прочность. Для расчета рекомендуется использовать МКЭ.

8.3 Расчет допустимых размеров несплошностей по предельным пластическим состояниям

8.3.1 При оценке по предельным пластическим состояниям учитывают только напряжения, вызванные действием механических нагрузок. Температурные, компенсационные, остаточные и другие напряжения, вызванные заданными перемещениями и деформациями, не учитываются.

8.3.2 В качестве предельных напряжений принимают

$$R_F^T = (R_{p0,2}^T + R_m^T)/2. \quad (3)$$

8.3.3 При расчетах по предельным пластическим состояниям допустимые размеры трещин определяются из следующих соотношений:

- для цилиндрических оболочек с несплошностями, ориентированными в кольцевом направлении, используют зависимости

$$\sigma_b = \frac{2}{\pi} R^T{}_F[2\sin\gamma - n_a[a/s]_c \sin(n_\varphi(\varphi)_c)], \quad (4)$$

где

$$\gamma = \frac{1}{2}\left[\pi - n_a\left[a/s\right]_c n_\varphi\left(\varphi\right)_c - \pi\frac{\sigma_m}{\sigma_F^T}\right];\ \varphi = \frac{2c}{r}; \quad (5)$$

- для цилиндрических оболочек с несплошностями, ориентированными в осевом направлении:

$$\sigma_m + 0{,}67\sigma_b = R_F^T\left[1-\left(\frac{a}{W}\right)\right]; \quad (6)$$

$$\frac{a}{W} = \frac{n_a\left[a/s\right]_c}{1+\frac{2}{\pi}\frac{\left[s\right]_a}{\left[c\right]_a n_c}}. \quad (7)$$

Таблица 3 — Коэффициенты запаса для различных режимов нагружения

Режим нагружения	n_a	n_φ, n_c
НУЭ*	3	2
ГИ*	2	2
НУЭ в сочетании с МРЗ*	1	2
* Категории режимов применяются в соответствии с проектом		

8.3.4 Допускается использовать методы расчета, основанные на использовании других критериев, например *J*-интеграла, метод R6, предельные пластические состояния, в соответствии с требованиями документов по стандартизации.

8.4 Определение допустимых размеров несплошностей

8.4.1 Допустимая высота [*a*] и допустимая полудлина [*c*] расчетной несплошности определяются из соотношений:

$$[a] = [a]_i - \Delta a; \quad (8)$$

$$[c] = [c]_i - \Delta c. \quad (9)$$

8.4.2 Расчет $[a]_i$, $[c]_i$ проводится по условию обеспечения сопротивления, хрупкому разрушению или по методике предельных пластических состояний по 8.2 и 8.3 соответственно. Расчет Δa, Δc приведен в приложении В.

8.4.3 Нормы допустимых несплошностей должны устанавливаться с учетом требования норм и правил [1] [(перечисление д) 159)], согласно которому размер несплошности, с учетом скорости ее роста, не должен достигать половины критического размера в течение времени до очередного контроля.

Примечание — Дополнительно для определенных $[a]_i$, $[c]_i$ должно быть проверено выполнение требований по статической прочности.

Приложение А
(рекомендуемое)

Вид норм допустимых размеров несплошностей

Наименование зоны	Продольная несплошность		Поперечная несплошность		Время, год
	Поверхностная	Подповерхностная	Поверхностная	Подповерхностная	
Зона 1	a_1, c_1	a_2, c_2	a_3, c_3	a_4, c_4	
	a_5, c_5	a_6, c_6	…	…	
	…	…	…	…	
	…	…	…	…	
	…	…	…	…	
	…	…	…	a_i, c_i	
Зона 2 …	a_1, c_1	a_2, c_2	a_3, c_3	a_4, c_4	
	…	…	…	…	

Приложение Б
(рекомендуемое)

Процедура определения остаточных напряжений

Б.1 Величина и вид распределения остаточных напряжений (см. рисунок Б.1) после нанесения наплавленного металла и остывания конструкции до 20 °С должны составлять:

- в наплавленном металле $\sigma^{н}_{ост} = R^{ф}_{p0,2}$;
- в основном металле $\sigma^{ом}_{ост}$ — для $1,5s_{н}$ и для равновесия сечения напряжения уходят в отрицательную область;

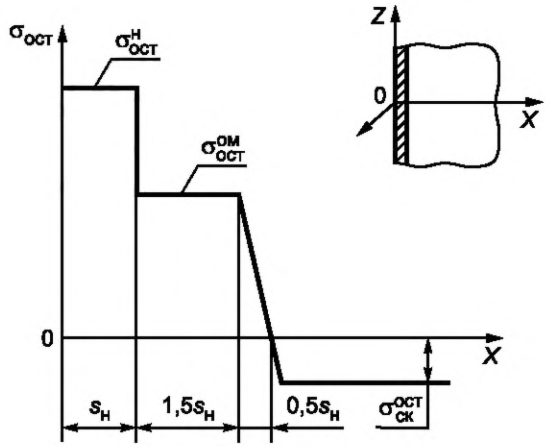


Рисунок Б.1 — Эпюра остаточных напряжений в наплавке и основном металле

Б.2 Остаточные напряжения, вызванные изготовлением сварного соединения, рассчитываются по следующей формуле:

$$\sigma_{ост} = \sigma^{ом}_{ост} \cos\left(\frac{2\pi x}{s_w}\right). \quad (Б.1)$$

Б.3 Расчет остаточных напряжений в сварных соединениях в сочетании с наплавленным металлом проводится с помощью суперпозиции результатов, сделанных в Б.1 и Б.2, результат показан на рисунке Б.2.

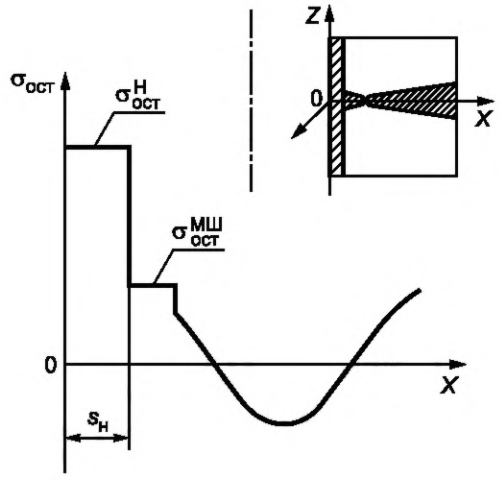


Рисунок Б.2 — Эпюра остаточных напряжений в наплавке и основном металле

Б.4 Величины остаточных напряжений в наплавке после проведения гидравлических испытаний на прочность определяются по формуле

$$(\sigma^{ГИ}_{ii})^{н}_{ост} = (\sigma_{ii})^{н}_{ост} - \sigma^{ГИ}_{ii}. \quad (Б.2)$$

Приложение В
(рекомендуемое)

Расчет кинетики несплошностей

В.1 В соответствии с настоящим приложением определяют увеличение размеров несплошности при заданных циклических напряжениях и числе циклов нагружения, и/или статических напряжениях и времени их действия.

В.2 Расчет проводится методами линейной механики разрушения. Условия нагружения определяются размахом коэффициента интенсивности напряжений ΔK, коэффициентом асимметрии R и продолжительностью нагружения — числом циклов N, условия статического нагружения — коэффициентом интенсивности напряжений K_{st} и длительностью статического нагружения t.

В.3 Сопротивление разрушению определяется диаграммами статического и/или усталостного роста несплошности, устанавливающими зависимость скорости роста несплошности $\frac{da}{dt}$ или $\left(\frac{dc}{dt}\right)$ от K_{st} и/или $\frac{da}{dN}$ или $\frac{dc}{dN}$) от ΔK при заданном значении R.

В.4 Диаграмма статического роста несплошности в общем случае представляется ломаной линией, участки которой аппроксимируются соотношением

$$\frac{da}{dt} = C_{st}K_{st}^{n}, \tag{В.1}$$

где C_{st}, n — характеристики материала, зависящие от условий нагружения (класс и состояние металла, температура, состав рабочей среды).

В.5 Диаграмма циклического роста несплошности в общем случае представляется ломаной линией, участки которой аппроксимируются соотношением

$$\frac{da}{dN} = C_0\left(\frac{\Delta K}{\sqrt[4]{1-R}}\right)^{m}, \tag{В.2}$$

где C_0, m — характеристики материала, зависящие от условий нагружения (класс и состояние металла, температура, состав рабочей среды, частота циклов); R — коэффициент асимметрии (при $R \geq 0{,}75$ следует принимать $R = 0{,}75$).

В.5 В расчете не учитывается торможение (ускорение) роста несплошностей от перегрузок различного цикла, а также вследствие пересечения линий сплавления сварных швов, наплавок, границ слоев в многослойных материалах.

В.6 Формирование циклов изменения КИН проводится по методу, аналогичному методу формирования циклов местных напряжений при расчете на прочность при циклических нагрузках. Первый тип цикла КИН с размахом $\Delta K = K_{max1} - K_{min1}$, наибольшее значение K_{max1} из всех значений K_{max} и минимальное значение K_{min1} из всех значений K_{min1}. Последующие типы циклов (i = 1,2,3 и т. д.) с размахом ΔK образуются таким же образом из оставшейся части зависимости КИН от времени. На зависимости K от времени сформированные таким образом циклы располагаются в моменты времени, которым соответствуют K_{max}.

В.7 Интервалам времени статического нагружения Δt_p придается индекс p (p = 1,2,3 и т. д.). Нагружение считается статическим длительностью Δt_p, если в пределах Δt_p значения и распределение напряжений в стенке остаются постоянными. Интервалы статического нагружения при $K \leq 0$ из расчета исключаются.

В.8 Критерием выбора определяющего главного напряжения в цикле или в интервале Δt_p могут служить значения $\frac{da}{dN}$ или $\frac{da}{dt}$, определенные с учетом соответствующих ΔK, коэффициента асимметрии R или K_{St} и размеров проекции расчетной несплошности. Если напряжения, определяющие K_{max}, выходят за пределы упругости, то для уточненного расчета значения K_{max} следует провести упругопластический расчет соответствующего распределения напряжений, в условиях нейтронного облучения — с учетом изменения диаграммы деформирования металла в результате облучения.

В.9 Коэффициент асимметрии i-го цикла R_i определяют по формуле

$$R_i = \left(\frac{K_{min}}{K_{max}}\right)_i, \tag{В.3}$$

где для циклов нагружения, которые характеризуются $R < 0$, принимается $R = 0$, а для циклов нагружения, которые характеризуются $R > 1$, принимается $\Delta K = 0$.

В.10 Расчет циклического роста от значения a_{i-1} до значения a_i при i-м цикле проводится в соответствии с хронологией нагружения по формуле

$$a_i - a_{i-1} = C_0 \left(\frac{\Delta K}{\sqrt[4]{1-R}} \right)^m , \qquad (B.4)$$

где значения характеристик C_0, m в области $10^{-5} \geq \frac{da}{dN}$, $\geq 10^{-11}$, м/цикл, приведены в таблице В.1 для температур до 350 °С.

Т а б л и ц а В.1 — Значения характеристик C_0, m (развитие трещин на воздухе)

Класс материала	m	C_0
Легированные стали типа Cr-Mo-V, Cr-Ni-Mo-V и их сварные соединения	2,7	$2{,}8 \cdot 10^{-11}$
Углеродистые стали и их сварные соединения	3,1	$1{,}5 \cdot 10^{-11}$
Хромоникелевые коррозионно-стойкие стали аустенитного класса 18-8 и их сварные соединения	3,3	$5{,}2 \cdot 10^{-12}$

В.11 При расчете роста несплошности в сварных узлах (в основном металле и металле сварных соединений) из легированных сталей типа Cr-Mo-V и Cr-Ni-Mo-V при воздействии обескислороженной водной среды (температура до 350 °С) и содержании в металле серы $S < 0{,}016$ % допускается использовать уравнение (В.4) и данные таблицы В.1 для указанных сталей, увеличив значение C_0 в три раза.

В.12 При расчете циклического роста трещины в сварных узлах (в основном металле и металле сварных соединений) из легированных сталей типа Cr-Mo-V и Cr-Ni-Mo-V при воздействии кислородосодержащей водной среды или при содержании в металле массовой доли серы $S > 0{,}016$ %, (температура до 350 °С) используют кинетическую диаграмму усталостного разрушения, которая представляется в двойных логарифмических координатах двумя прямыми, которым соответствует уравнение (В.4) со следующими характеристиками:

а) на первом участке до точки пересечения прямых $C_{01} = 4{,}9 \cdot 10^{-17}$, $m_1 = 7{,}2$;

б) на втором участке $C_{02} = 1{,}1 \cdot 10^{-8}$, $m_2 = 1{,}4$.

Для упрощенного расчета развития несплошности в этих сталях и их сварных соединениях в условиях воздействия кислородосодержащей водной среды (до 350 °С) или при содержании в металле серы $S > 0{,}016$ % допускается использовать данные таблицы В.1 для этих сталей, увеличив значение C_0 в 10 раз.

В.13 При расчете циклического роста несплошности в сварных узлах (в основном металле, металле сварных соединений и наплавленных поверхностей) из хромоникелевых коррозионно-стойких сталей аустенитного класса типа 18-8 в условиях воздействия водной среды допускается использовать данные таблицы В.1 для этих сталей. При этом:

а) для кислородосодержащей водной среды (вода, пар, пароводяная смесь) значение C_0 следует увеличить в 10 раз;

б) для обескислороженной водной среды (вода) значение C_0 следует увеличить в два раза.

В.14 Расчет роста несплошности при статическом нагружении проводится в хронологическом порядке действия статических нагрузок от значения a_{p-1} до значения a_p в интервале Δt_p статического нагружения по формуле

$$\Delta t_p = \frac{1}{c_{st}} \int_{a_{p-1}}^{a_p} (K_{st})_p^{-n} \, da. \qquad (B.5)$$

В.15 Значения характеристик C_{st}, n для $K_{st} \leq 35$ МПа $\cdot$ м$^{1/2}$ приведены в таблице В.2 для температур до 350 °С (для сталей типа 18-8 и их сварных соединений при росте трещин по типу межкристаллитного коррозионного растрескивания под напряжением). Для приближенных оценок роста поверхностной трещины при межкристаллитном растрескивании в кислородосодержащей водной среде в направлении толщины стенки (15—30 мм) в пришовной зоне нетермообработанных V-образных стыковых сварных соединений стабилизированной стали типа 18-8 при температуре до 350 °С за время эксплуатации, включающее стадию образования трещины, можно использовать среднюю скорость $2{,}9 \cdot 10^{-10}$ м/с, а в точке фронта трещины на поверхности стенки $6{,}3 \cdot 10^{-10}$ м/с.

Т а б л и ц а В.2 — Значения характеристик C_{st}, n

Класс материала	n	C_{st}
Хромоникелевые коррозионно-стойкие стали аустенитного класса 18-8 и их сварные соединения	2,16	$1{,}28 \cdot 10^{-13}$

П р и м е ч а н и е — Влияние нейтронного облучения на характеристики диаграмм разрушения не учитывается.

В.16 Расчет увеличения размеров трещин проводится с коэффициентами запаса на прирост ее размеров при циклическом нагружении $n_{aN} = n_{cN} = 2^m$, но не более 10, при статическом нагружении $n_{aS} = n_{cS} = 2^n$, но не более 3.

В.17 Расчет проводится при фиксированных значениях R с использованием откорректированной зависимости КИН от времени до достижения приращения размера трещины Δa_1 (Δc_1), после этого проводится корректировка зависимости КИН от времени для неохваченной предшествующей стадией расчета зависимости K от времени при размерах трещины $a_0 + \Delta a_1$, $c_0 + \Delta c_1$.Проводится возможная корректировка значений R_i, проверка знака K_{St} на интервалах статического нагружения, а затем следующий цикл расчета до приращения размера трещины Δa_2 (Δc_2).

В.18 Расчет увеличения размеров несплошностей — Δa и Δc (для соотношения 8.4.1) рекомендуется проводить по формуле (В.4) и/или (В.5) для всей истории нагружения без учета коэффициентов запаса. Затем увеличения размеров несплошности, полученные на каждой стадии нагружения (статического или циклического), умножают на коэффициенты запаса (см. В.16), далее полученные значения суммируют.

В.19 Может применяться упрощенный способ расчета роста несплошностей, приняв как наиболее консервативную схему распределения напряжений в рассматриваемых зонах равномерное распределение с размахом, равным наибольшему изменению напряжения в сечении для каждого цикла. В этом случае определяют эквивалентный размах напряжений и эквивалентное число циклов.

В.20 Допускается использование экспериментально обоснованных кинетических зависимостей подроста несплошностей и предельных диаграмм разрушения основного металла и сварных соединений в рабочей среде заданных параметров с учетом характеристик напряженно-деформированного состояния, полученных по методикам, согласованным в установленном порядке.

В.21 Для других механизмов деградации несплошностей, например межкристаллитного растрескивания под напряжением или замедленно-деформационного коррозионного растрескивания, используют формулы (В.4) и/или (В.5), но с использованием значений констант C_{st}, n и C_0, m для соответствующего механизма деградации.

Библиография

[1] Федеральные нормы и правила НП-084-15 — Правила контроля основного металла, сварных соединений и наплавленных поверхностей при эксплуатации оборудования, трубопроводов и других элементов атомных станций

[2] Федеральные нормы и правила НП-096-15 — Требования к управлению ресурсом оборудования и трубопроводов атомных станций. Основные положения

УДК 621.039:006.354 ОКС 27.120.99

Ключевые слова: система оценки соответствия, несплошности, оборудование и трубопроводы, атомная станция

БЗ 4—2019/44

Редактор *Е.А. Моисеева*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Е.Д. Дульнева*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 09.04.2019. Подписано в печать 15.05.2019. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 1,86.
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.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru