ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 71786— 2024

ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ РЕАКТОРОВ С НАТРИЕВЫМ И СВИНЦОВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

Расчет на прочность

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2025

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 28 декабря 2024 г. № 2077-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 «Институт стандартизации», 2025

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

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ РЕАКТОРОВ С НАТРИЕВЫМ И СВИНЦОВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

Расчет на прочность

Fuel elements of the sodium-cooled and lead-cooled reactors.
Rules for strength analysis

Дата введения — 2025—04—01

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает требования к обоснованию прочности тепловыделяющих элементов реакторов с натриевым и свинцовым теплоносителем в условиях нормальной эксплуатации и при нарушениях нормальной эксплуатации (исключая аварии).

1.2 Настоящий стандарт предназначен для применения при обосновании прочности тепловыделяющих элементов реакторов с натриевым и свинцовым теплоносителем в соответствии с федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии, устанавливающими основные требования к обоснованию прочности и термомеханического поведения тепловыделяющих сборок и тепловыделяющих элементов в активной зоне реакторов с натриевым теплоносителем и требования к конструированию, расчету на прочность и изготовлению элементов активной зоны реакторных установок со свинцовым теплоносителем.

1.3 Настоящий стандарт распространяется на тепловыделяющие элементы, изготовленные из сталей аустенитного и ферритно-мартенситного класса.

1.4 Настоящий стандарт не распространяется на расчет по обоснованию прочности:

- тепловыделяющих элементов при транспортно-технологических операциях;
- не распространяется на делящиеся материалы, сборочные единицы и (или) детали, расположенные внутри твэлов.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 8.614 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная служба стандартных справочных данных. Основные положения

ГОСТ Р 8.985 Государственная система обеспечения единства измерений. Служба стандартных справочных данных в области использования атомной энергии. Общие положения

ГОСТ Р 9.905 (ИСО 7384:2001, ИСО 11845:1995) Единая система защиты от коррозии и старения. Методы коррозионных испытаний. Общие требования

ГОСТ 9.908 Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости

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

ГОСТ Р 59115.9—2021 Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Поверочный расчет на прочность

ГОСТ Р 71787 Тепловыделяющие сборки и тепловыделяющие элементы реакторов с натриевым теплоносителем. Требования к характеристикам конструкционных материалов для расчетов на прочность

Издание официальное

ГОСТ Р 71788—2024 Тепловыделяющие сборки реакторов с натриевым теплоносителем. Расчет на прочность при действии статических нагрузок

ГОСТ Р 71789—2024 Тепловыделяющие сборки реакторов с натриевым теплоносителем. Расчет на прочность при действии динамических нагрузок

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 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 и обозначения

3.1 Термины и определения

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

3.1.1 **остаточная механическая деформация:** Суммарное значение деформаций радиационной и термической ползучести и пластической деформации за рассматриваемый период времени.

3.1.2 **предельное состояние:** Состояние компонента, в котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

3.1.3 **расчетное давление:** Максимальное за весь срок службы тепловыделяющего элемента избыточное давление, действующее на оболочку тепловыделяющего элемента при условиях нормальной эксплуатации.

3.1.4 **расчетная температура:** Максимальное среднее интегральное значение температуры по толщине стенки (сечения) компонента в рассматриваемом режиме эксплуатации.

3.2 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

МРЗ — максимальное расчетное землетрясение;
НДС — напряженно-деформированное состояние;
ННУЭ — нарушение нормальных условий эксплуатации;
НУЭ — нормальные условия эксплуатации;
ПЗ — проектное землетрясение;
ТВС — тепловыделяющая сборка;
твэл — тепловыделяющий элемент.

3.3 Обозначения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения:

c — суммарная прибавка к толщине стенки, мм;
c_{11} — прибавка к толщине стенки, равная отрицательному допуску, мм;
c_2 — прибавка к толщине стенки, учитывающая утонение стенки вследствие коррозии за срок службы компонента, мм;
D — номинальный внутренний диаметр цилиндрической части компонента, мм;
N — число циклов нагружения компонента в эксплуатации;
$[N]$ — допускаемое число циклов нагружения компонента в эксплуатации;
n_N — коэффициент запаса прочности по числу циклов при расчетах на циклическую прочность;

n_σ — коэффициент запаса прочности по условному местному приведенному напряжению при расчетах на циклическую прочность;

p — расчетное давление, МПа;

R_m^T — минимальное значение временного сопротивления при температуре T, МПа;

R_{mt}^T — минимальное значение предела длительной прочности за время t при температуре T, МПа;

$R_{p0,2}^T$ — минимальное значение условного предела текучести при температуре T, МПа;

s — номинальная толщина стенки компонента, мм;

s_R — расчетная толщина стенки, мм;

T — температура,°С;

T_t — температура, при достижении которой необходимо учитывать характеристики длительной прочности, пластичности и ползучести, °С;

ε_{cr} — остаточная механическая деформация, вызванная радиационной и температурной ползучестью;

ε_{sw} — деформация, вызванная радиационным распуханием;

$[\sigma]$ — номинальное допускаемое напряжение, МПа;

$(\sigma)_2$ — группа приведенных напряжений, определяемая по составляющим общих или местных мембранных и общих изгибных напряжений, действующих в сечении твэла при механических воздействиях, МПа;

$(\sigma_s)_1$ — группа приведенных общих мембранных напряжений с учетом сейсмических воздействий, МПа;

$(\sigma_s)_2$ — группа приведенных мембранных и общих изгибных напряжений с учетом сейсмических воздействий, МПа.

4 Общие положения

4.1 Расчет на прочность твэлов следует проводить в два этапа:

- расчет по выбору толщины стенки оболочки твэла;
- поверочный расчет.

4.2 Расчетную толщину стенки s_R следует определять по формуле

$$s_R = \frac{pD}{2[\sigma] - p}. \quad (4.1)$$

Номинальное допускаемое напряжение $[\sigma]$ принимается равным минимальному из значений допускаемого напряжения, определенных по формулам (5.2) и (5.6).

Номинальная толщина стенки компонента должна удовлетворять условию

$$s \geq s_R + c. \quad (4.2)$$

Суммарную прибавку к расчетной толщине стенки компонента определяют по формуле

$$c = c_{11} + c_2. \quad (4.3)$$

4.3 Прибавку c_{11} определяют по конструкторской документации и принимают равной отрицательному допуску на толщину стенки.

4.4 Прибавка c_2 к толщине стенки, учитывающая коррозионное влияние теплоносителя и среды внутри твэла на материал в условиях эксплуатации, должна устанавливаться и обосновываться конструкторской организацией с учетом скорости коррозии и продолжительности эксплуатации при условии обеспечения проектных требований к химическим режимам коррозионных сред и/или на основании опыта эксплуатации прототипов с учетом требований ГОСТ 9.908 и ГОСТ Р 9.905.

Значение прибавки c_2 следует принимать равным сумме значений прибавок со стороны теплоносителя и со стороны внутренней среды твэла.

4.5 Поверочным расчетом необходимо подтвердить, что предельные состояния твэлов, перечисленные в федеральных нормах и правилах в области использования атомной энергии по 1.2, не будут достигнуты во всех проектных режимах в течение всего назначенного для твэлов срока службы. Недостижение предельных состояний твэлов подтверждается проверкой выполнения критериев прочности по разделу 5.

4.6 Проверка выполнения критериев проводится путем сравнения расчетного значения оцениваемой по критерию величины с его допускаемым значением. Допускаемое значение для критерия определяется с учетом коэффициента запаса.

4.7 Поверочный расчет на прочность следует проводить по номинальным размерам.

4.8 Обоснование прочности твэлов следует проводить с учетом статических и динамических нагрузок и факторов нагружения.

4.9 К статическим нагрузкам и факторам нагружения относят:

- гравитационные нагрузки;
- наружное давление теплоносителя;
- внутреннее давление газов в твэле;
- усилия от взаимодействия с компонентами ТВС;
- температурное расширение;
- радиационное распухание;
- неравномерность температурного поля и радиационного воздействия;
- усилия взаимодействия оболочки твэлов и топливных таблеток.

4.10 Расчет с учетом влияния факторов нагружения, связанных с локальными неравномерностями температурного поля и радиационного воздействия, а также взаимодействием оболочки твэлов и топливных таблеток, следует проводить по деформационным критериям прочности 5.5 и 5.6.

4.11 К динамическим нагрузкам относят:

- внешние динамические воздействия;
- вибрационные нагрузки.

4.12 Учет влияния вибрационных нагрузок на твэлы проводится как составная часть расчета на циклическую прочность при двухчастотном нагружении.

4.13 Расчет при действии динамических нагрузок следует проводить для сейсмических и внешних воздействий в режимах НУЭ, ННУЭ.

4.14 В один расчетный режим может быть включена группа режимов, если внешние нагрузки и температуры этих режимов не отличаются более чем на 5 % от принятых расчетных значений (значение температуры — в °С).

4.15 При обосновании прочности твэлов следует учитывать:

- коррозионное влияние на них теплоносителя и продуктов распада топлива;
- изменение значений физических и механических характеристик материалов вследствие облучения и температурных воздействий;
- радиационную и термическую ползучесть.

4.16 Если температура компонента твэла при эксплуатации, в том числе на отдельных режимах, ниже T_t, то расчет на прочность в этих режимах следует проводить по предельным состояниям без учета характеристик длительной прочности и ползучести металла.

4.17 Значения характеристик материалов твэлов, используемые в расчетах, принимаются в соответствии с действующими нормативными правовыми актами и/или федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии, устанавливающими основные требования к обоснованию прочности и термомеханического поведения тепловыделяющих сборок и тепловыделяющих элементов в активной зоне реакторов с натриевым теплоносителем и требования к конструированию, расчету на прочность и изготовлению элементов активной зоны реакторных установок со свинцовым теплоносителем, и/или проектной конструкторской документацией, и/или обосновывающим отчетом, разработанным в соответствии с ГОСТ Р 71787.

4.18 В качестве источников данных о характеристиках материалов могут быть использованы актуальные стандартные или рекомендуемые справочные данные, аттестованные в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.614 или ГОСТ Р 8.985.

4.19 Проверку критериев прочности следует проводить с учетом выбора максимальных значений оцениваемого по критерию параметра и/или минимальных значений допускаемых значений параметра по сечениям по высоте твэла и всех твэлов активной зоны, а также с учетом наличия сварных соединений. Допускается проведение расчетов для ограниченной выборки твэлов и/или определяющих режимов, если показано, что для данной выборки достигаются максимальные значения оцениваемого параметра.

5 Критерии прочности тепловыделяющих элементов

5.1 Критерий кратковременной статической прочности

Прочность оболочки твэла по критерию кратковременной статической прочности обеспечена, если выполняется условие

$$(\sigma)_2 < [\sigma]. \tag{5.1}$$

Допускаемое напряжение [σ] вычисляют по формуле

$$[\sigma] = \min\left(\frac{R_m^T}{n_m}; \frac{R_{p0,2}^T}{n_{0,2}}\right), \tag{5.2}$$

где n_m — коэффициент запаса прочности по временному сопротивлению, n_m = 2,6;

$n_{0,2}$ — коэффициент запаса прочности по пределу текучести, $n_{0,2}$ = 1,5.

Температуру T в формуле (5.2) принимают равной расчетной температуре.

5.2 Критерий циклической прочности

Условие прочности при наличии различных циклических нагрузок проверяется по формуле

$$\sum_{i=1}^{k} \frac{N_i}{[N]_i} = a_N \le [a_N], \tag{5.3}$$

где N_i — число циклов i-го типа за время эксплуатации;

k — общее число типов циклов;

$[N]_i$ — допускаемое число циклов i-го типа;

a_N — накопленное усталостное повреждение, предельное значение которого $[a_N]$ = 1.

Расчет на циклическую прочность проводят на основе анализа напряжений с учетом концентрации напряжений с целью исключения возникновения трещин в компоненте вследствие циклического нагружения.

Определение допускаемого числа циклов при заданной амплитуде напряжений при расчете на циклическую прочность (длительную циклическую прочность) твэлов реакторов с натриевым и свинцовым теплоносителем проводят по ГОСТ Р 71788—2024 (раздел 10).

Коэффициент запаса циклической прочности при расчете по ГОСТ Р 71788—2024 (раздел 10) по напряжениям n_σ следует принимать равным 2, а по числу циклов n_N — равным 10.

В результате расчета на циклическую прочность (длительную циклическую прочность) определяют допускаемое число повторений режимов работы твэлов для заданных повторяющихся эксплуатационных нагрузок и затем величину накопленной усталостной повреждаемости. Проводится проверка выполнения критерия. Критерий выполняется при удовлетворении условия (5.3).

5.3 Критерии потери устойчивости

Расчет на устойчивость следует проводить для оболочки твэла, находящейся под действием наружного давления и осевой сжимающей силы, которая определяется из расчета НДС ТВС. Подлежат расчету твэлы, для которых достигаются максимальные значения сжимающей силы и температуры.

Устойчивость оболочки твэла, нагруженного осевой силой и наружным давлением при отсутствии ползучести обеспечена, если выполнено условие

$$\frac{\sigma_c}{[\sigma_c]} + \frac{p_a}{[p_a]} \le 1{,}0, \tag{5.4}$$

где $[\sigma_c]$ — допускаемое напряжение сжатия, МПа;

$[p_a]$ — допускаемое наружное давление, МПа;

σ_c — расчетное осевое напряжение сжатия, МПа;

p_a — наружное давление, действующее на оболочку твэла, МПа.

Расчет на устойчивость по критерию (5.4) следует проводить в случае, если температура оболочки твэла ни в одном рассматриваемом режиме не превышает температуру T_t и в ней не возникает

радиационная ползучесть. Расчет на устойчивость по критерию (5.4) следует проводить для твэлов реакторов с натриевым и свинцовым теплоносителем по ГОСТ Р 59115.9—2021 (пункт 9.2.7).

Если температура оболочки твэла, в том числе в отдельных режимах, равна или превышает температуру T_t и (или) в компоненте возникает радиационная ползучесть, то проводится расчет на устойчивость оболочки твэла по критерию (5.4) в исходном состоянии (не облученном состоянии с использованием физических и механических характеристик без учета облучения) и расчет на устойчивость в условиях ползучести по ГОСТ Р 71788—2024 (подраздел 9.2).

Расчет на устойчивость в условиях ползучести заключается в определении допускаемого времени работы твэлов при действии на рассчитываемый компонент заданных наружного давления и сжимающих нагрузок и сравнении его с временем работы в этих условиях за весь проектный срок службы, что является проверкой критерия потери устойчивости в условиях ползучести.

5.4 Критерий длительной статической прочности

Прочность оболочки твэла по критерию длительной статической прочности обеспечена, если выполняются условия (5.5) и (5.7):

$$(\sigma)_2 \le K_t [\sigma], \tag{5.5}$$

где $[\sigma]$ — номинальное допускаемое напряжение, определяемое по формуле

$$[\sigma] = \frac{R_{mt}^T}{n_{mt}}, \tag{5.6}$$

где n_{mt} — коэффициент запаса по пределу длительной прочности, $n_{mt} = 1{,}5$;

K_t — коэффициент приведения напряжения $(\sigma)_2$ к мембранным, который определяется в зонах мембранных или местных мембранных напряжений для твэлов реакторов с натриевым и свинцовым теплоносителем по ГОСТ Р 71788—2024 (пункт 8.2.3);

$$\sum_{i=1}^{k} \frac{t_i}{[t]_i} \le 1, \tag{5.7}$$

где t_i — время нагружения рассматриваемым приведенным напряжением в течение i-го режима при температуре T_i и дозе за весь период эксплуатации (следует учитывать только время нагружения при температурах металла, равных и выше T_i);

$[t]_i$ — допускаемое время нагружения, соответствующее температуре T_i и приведенному напряжению на i-м режиме;

k — число режимов нагружения, отличающихся температурой T_i или приведенным напряжением.

Допускаемое время нагружения $[t]_i$ определяют для твэлов реакторов с натриевым и свинцовым теплоносителем в соответствии с ГОСТ Р 71788—2024 (пункт 8.2.3) по формулам для напряжений группы $(\sigma)_2$.

В случае если расчет проводят численными методами, допускается вместо условия длительной статической прочности (5.7) использовать условие

$$\omega_\sigma(t) = \int_0^t dt/t_p \le 1{,}0, \tag{5.8}$$

где t_p — время до разрушения при испытании на длительную внутриреакторную прочность образца, нагруженного постоянным приведенным напряжением σ = const (при постоянной температуре и постоянной скорости набора повреждающей дозы облучения), соответствующим отрезку времени dt, ч.

Расчет по формуле (5.8) проводят с использованием коэффициента запаса по напряжениям $k_\sigma = 1{,}5$.

Определяют напряжения в оболочках твэлов в стационарных режимах. Допускается разбивка суммарного времени действия каждого режима на временные интервалы, в пределах которых напряжения и деформации принимаются постоянными и равными максимальному значению за выбранный интервал. Далее каждый полученный интервал рассматривается как отдельный режим.

Расчету подлежат твэлы, для которых достигаются максимальные значения напряжений группы $(\sigma)_2$ и температуры. Рассчитывается накопленная мера повреждаемости для каждого стационарного режима (интервала) и суммарная мера повреждаемости за весь срок службы для этих твэлов.

Проводится проверка выполнения критерия по формулам (5.5) и (5.7) или (5.8).

5.5 Критерий предельно допустимой деформации оболочки, вызванной ее распуханием

Данный критерий применим только для твэлов с оболочками, изготовленными из сталей аустенитного класса.

Прочность оболочки твэла по критерию предельно допустимой деформации, вызванной ее распуханием, обеспечена, если выполняется условие

$$\varepsilon_{sw} < [\varepsilon_{sw}], \tag{5.9}$$

где $[\varepsilon_{sw}]$ — допускаемое значение деформации, вызванной распуханием, ед., определяемое по формуле

$$[\varepsilon_{sw}] = \varepsilon_{sw,\mathrm{lim}}/k_{\varepsilon sw}, \tag{5.10}$$

где $\varepsilon_{sw,\mathrm{lim}}$ — предельное значение деформации, вызванной распуханием, ед.;

$k_{\varepsilon sw}$ — коэффициент запаса, $k_{\varepsilon sw} = 1{,}5$.

Для сталей марок ЧС68 и ЭК164 значение линейной деформации $\varepsilon_{sw,\mathrm{lim}} = 5$ %, для других марок сталей аустенитного класса использование данного значения $\varepsilon_{sw,\mathrm{lim}}$ должно быть обосновано, либо обосновано другое значение $\varepsilon_{sw,\mathrm{lim}}$ в соответствии с документами по стандартизации на материалы твэл и ТВС.

Проводят расчет деформации, связанной с распуханием оболочки, в аксиальных сечениях по высоте всех твэлов активной зоны (потвэльный расчет) за весь проектный срок службы с учетом условий работы твэлов по режимам.

Критерий выполняется при удовлетворении условия (5.9) для максимального значения деформации распухания в оболочках твэлов.

5.6 Критерий предельно допустимой остаточной механической деформации оболочки

Данный критерий применим только для твэлов с оболочками, изготовленными из сталей ферритно-мартенситного класса.

Прочность оболочки твэла по критерию предельно допустимой остаточной механической деформации, вызванной радиационной и температурной ползучестью, обеспечена, если выполняется условие

$$\varepsilon_{cr} < [\varepsilon_{cr}], \tag{5.11}$$

где $[\varepsilon_{cr}]$ — допускаемое значение остаточной механической деформации, вызванной радиационной и температурной ползучестью, ед., определяемое по формуле

$$[\varepsilon_{cr}] = \varepsilon_{cr,\mathrm{lim}}/k_{\varepsilon cr}, \tag{5.12}$$

где $\varepsilon_{cr,\mathrm{lim}}$ — предельное значение остаточной механической деформации, ед.;

$k_{\varepsilon cr}$ — коэффициент запаса, $k_{\varepsilon cr} = 1{,}0$.

Для сталей марок ЭП-450 и ЭП823 значение $\varepsilon_{cr,\mathrm{lim}} = 2$ %, для других марок сталей ферритно-мартенситного класса использование данного значения $\varepsilon_{cr,\mathrm{lim}}$ должно быть обосновано, либо обосновано другое значение $\varepsilon_{cr,\mathrm{lim}}$ в соответствии с документами по стандартизации на материалы твэл и ТВС.

Проводят расчет остаточной окружной остаточной деформации оболочки в аксиальных сечениях по высоте всех твэлов активной зоны (потвэльный расчет) с учетом условий работы твэлов по режимам.

Критерий выполняется при удовлетворении условия (5.11) для максимального значения остаточной механической деформации.

5.7 Критерий прочности при внешних динамических воздействиях

Прочность оболочки твэла при внешних динамических воздействиях обеспечена, если значения напряжений расчетных групп категорий напряжений по таблице 5.1 меньше допускаемых значений. Значения номинальных допускаемых напряжений определяются по 5.1.

Таблица 5.1 — Сочетания нагрузок и допускаемые напряжения оболочек твэлов при динамических воздействиях

Сочетание нагрузок	Расчетная группа категорий напряжений	Допускаемое напряжение
НУЭ + МРЗ	$(\sigma_s)_1$ $(\sigma_s)_2$	$1,4\cdot[\sigma]$ $1,8\cdot[\sigma]$
ННУЭ + МРЗ	$(\sigma_s)_1$ $(\sigma_s)_2$	$1,4\cdot[\sigma]$ $1,8\cdot[\sigma]$
НУЭ + ПЗ	$(\sigma_s)_1$ $(\sigma_s)_2$	$1,2\cdot[\sigma]$ $1,6\cdot[\sigma]$
ННУЭ + ПЗ	$(\sigma_s)_1$ $(\sigma_s)_2$	$1,2\cdot[\sigma]$ $1,6\cdot[\sigma]$

По результатам расчета НДС ТВС от действия динамических нагрузок в соответствии с требованиями ГОСТ Р 71789—2024 (раздел 4 и подразделы 5.1—5.3) для твэлов реакторов с натриевым и свинцовым теплоносителем определяются максимальные суммарные мембранные и общие изгибные напряжения в твэлах.

Оценке по данному критерию прочности подлежат твэлы, имеющие минимальный запас по критерию статической прочности, и твэлы, в которых возникают максимальные напряжения от действия динамических нагрузок.

УДК 621.039:531:006.354 ОКС 27.120.20

Ключевые слова: тепловыделяющий элемент, прочность, статическая прочность, динамические воздействия

Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Р.А. Ментова*
Компьютерная верстка *И.А. Налейкиной*

Сдано в набор 13.01.2025. Подписано в печать 31.01.2025. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,40. Уч.-изд. л. 1,18.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
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