ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 70422— 2022

МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ РБМК-1000

Расчет на прочность при выводе блока атомной станции из эксплуатации

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2023

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 27 декабря 2022 г. № 1651-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», 2023

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, обозначения и сокращения 1
4 Общие положения поверочного расчета металлоконструкций при выводе блока атомной станции из эксплуатации 2
5 Требования к исходным данным 3
6 Номинальные допускаемые напряжения 4
7 Поверочный расчет 4
7.1 Определение напряженно-деформированного состояния 4
7.2 Классификация напряжений 4
7.3 Порядок определения напряжений 5
7.4 Расчет на статическую прочность 5
7.5 Расчет на внешние динамические воздействия 6
7.6 Расчет на устойчивость при статическом нагружении 7
7.7 Расчет на сопротивление разрушению элементов металлоконструкций РБМК-1000 схем «Е», «ОР», «С», «Д», «КЖ» и «Л» 7
Приложение А (рекомендуемое) Остаточные сварочные напряжения 14
Приложение Б (справочное) Оценка прочности катковых опор 18
Библиография 21

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ РБМК-1000

Расчет на прочность при выводе блока атомной станции из эксплуатации

Metal structures of RBMK-1000. Strength calculation during decommissioning of a nuclear power plant unit

Дата введения — 2023—02—01

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает требования к проведению поверочного расчета на прочность металлоконструкций РБМК-1000 для стадии вывода блока атомной станции из эксплуатации.

1.2 Настоящий стандарт распространяется на металлоконструкции РБМК-1000 схем «Е», «ОР», «С», «Д», «КЖ» и «Л» и их элементов, включая сварные соединения и катковые опоры.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

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

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

ГОСТ Р 59115.11 Обоснование прочности оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Поверочный расчет на постпроектных стадиях

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, обозначения и сокращения

3.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 59115.1, а также следующий термин с соответствующим определением:

3.1.1 **поверочный расчет:** Расчет на прочность, проводимый при разработке (доработке) проекта и (или) изготовлении и эксплуатации объекта с целью проверки выполнения условий его прочности для выбранных размеров и материалов с учетом заданных режимов эксплуатации, ресурса, срока службы и конструктивных особенностей объекта.

Издание официальное

3.2 Сокращения и обозначения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения и сокращения:

АС — атомная станция;

ВЭ — вывод из эксплуатации;

МК — металлоконструкции;

МКЭ — метод конечных элементов;

МРЗ — максимальное расчетное землетрясение;

ПЗ — проектное землетрясение;

РВЭ — режим вывода из эксплуатации;

РП — реакторное пространство;

E — модуль упругости, МПа;

$n_{0,2}$ — коэффициент запаса прочности по пределу текучести;

n_m — коэффициент запаса прочности по временному сопротивлению;

p_a — наружное давление, МПа;

p_{kr} — критическое давление, МПа;

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

R_m^T — временное сопротивление при температуре T, МПа;

$R_{p0,2}^T$ — условный предел текучести при температуре T, МПа;

$R_{p0,2}^F$ — предел текучести с учетом нейтронного облучения, МПа;

S — толщина стенки компонента, мм;

T_k — критическая температура хрупкости, °С;

δ_i — расчетное раскрытие в вершине постулированной трещины, мм;

δ_c — критическое раскрытие в вершине трещины, мм;

σ_c — напряжение сжатия, МПа;

σ_m — общие мембранные напряжения, МПа;

σ_{mL} — местные мембранные напряжения, МПа;

σ_b — общие изгибные напряжения, МПа;

σ_{bL} — местные изгибные напряжения, МПа;

σ_{mw} — среднее напряжение растяжения по сечению болта или шпильки, вызываемое механическими нагрузками, МПа;

σ_{kr} — критическое напряжение сжатия, МПа;

$(\sigma)_1$ — группа приведенных напряжений в МК, МПа;

$(\sigma)_2$ — группа приведенных напряжений в МК, МПа;

$(\sigma)_{3w}$ — группа приведенных напряжений в болтах и шпильках, МПа;

$(\sigma)_{4w}$ — группа приведенных напряжений в болтах и шпильках, МПа;

$(\sigma)_{RV}$ — размах приведенных напряжений в компонентах МК, МПа;

$(\sigma_{aF})_V$ — амплитуда условных упругих приведенных напряжений с учетом концентрации напряжений, 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;

$(\sigma_s)_s$ — средние напряжения смятия с учетом сейсмических воздействий, МПа;

$(\tau_s)_s$ — касательные напряжения среза с учетом сейсмических воздействий, МПа;

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

$[\sigma]_w$ — номинальное допускаемое напряжение для резьбовых соединений, МПа;

$[\sigma_c]$ — допускаемое напряжение сжатия, МПа.

4 Общие положения поверочного расчета металлоконструкций при выводе блока атомной станции из эксплуатации

4.1 Поверочный расчет МК РБМК-1000, включая сварные соединения и катковые опоры, необходимо провести по состоянию МК (в том числе измененные по отношению к состоянию МК на момент начала ВЭ) во всех рассматриваемых моментах времени при ВЭ блока АС.

4.2 Поверочный расчет МК РБМК-1000 включает в себя:

- расчет на статическую прочность;
- расчет на внешние динамические воздействия;
- расчет на устойчивость;
- расчет на сопротивление разрушению.

4.3 Расчет на статическую прочность заключается в определении значений максимальных напряжений оцениваемых категорий для всех рассматриваемых режимов МК и сопоставлении расчетных значений напряжений с допускаемыми с целью исключения разрушения элементов МК РБМК-1000 при статическом нагружении. Допускаемые напряжения устанавливаются по значениям временного сопротивления и предела текучести с введением коэффициентов запаса.

4.4 Расчет на внешние динамические воздействия проводится с учетом совместного действия нагрузок от веса и внешних динамических воздействий. Оценка прочности элементов МК РБМК-1000 выполняется по допускаемым напряжениям и по критериям устойчивости.

4.5 Расчет на устойчивость заключается в определении допускаемых нагрузок, превышение которых вызывает возможность потери устойчивости МК РБМК-1000. Допускаемые нагрузки устанавливаются введением коэффициентов запаса.

4.6 Расчет на сопротивление разрушению проводится по критериям инициирования постулируемой трещины или фактической несплошности и торможения разрушения на основе сопоставления расчетных параметров, характеризующих нагруженность металла у вершины трещиноподобного расчетного дефекта, с их допускаемыми значениями, с целью исключения возможности разрушения.

4.7 Если для какого-либо расчета из перечисленных в 4.2 обосновано, что использование данных 5.1 приводит к более консервативным результатам, чем использование данных, принятых в ранее выполненных расчетах, то в данном расчете допускается использовать результаты ранее выполненных расчетов.

5 Требования к исходным данным

5.1 Исходными данными к поверочному расчету МК РБМК-1000 являются:

- значения характеристик физических и механических свойств конструкционных материалов, с учетом данных об их изменении;
- данные инструментального контроля (результаты измерений, выполненных при эксплуатационном контроле и контроле при подготовке к ВЭ) элементов МК, в том числе выявленные в процессе эксплуатации несплошности, отклонения от проектных размеров;
- данные о произошедших изменениях в элементах МК, отступления от проектной конструкторской документации;
- остаточные сварочные напряжения;
- параметры нагружения МК при ВЭ;
- программы продления срока службы;
- результаты комплексного обследования, оценки технического состояния, обоснования остаточного ресурса МК;
- программа ВЭ блока АС;
- информационная система — база данных ВЭ.

5.2 Для рассматриваемой МК (элемента МК) РБМК-1000 устанавливаются значение расчетного флюенса нейтронов, равное накопленному (фактическому) значению флюенса к моменту ВЭ.

Значения расчетного флюенса определяются на основании данных эксплуатации, результатов нейтронных расчетов.

5.3 В качестве используемых при определении значений номинальных допускаемых напряжений механических характеристик материалов МК РБМК-1000, принимаются временное сопротивление R_m^T и предел текучести $R_{p0,2}^T$ при заданной температуре.

5.4 Снижение характеристик пластичности, вследствие влияния облучения и других эксплуатационных факторов, воздействующих на МК РБМК-1000 на этапе эксплуатации блока АС, учитывается при проведении расчетов на статическую прочность.

5.5 Значения механических характеристик конструкционных материалов МК РБМК-1000 принимаются равными значениям на момент окончания срока эксплуатации блока АС.

6 Номинальные допускаемые напряжения

6.1 Номинальные допускаемые напряжения для элементов МК РБМК-1000 определяют по значениям временного сопротивления R_m^T и предела текучести $R_{p0,2}^T$.

6.2 Номинальное допускаемое напряжение для элементов МК РБМК-1000, за исключением резьбовых соединений, принимается минимальным из следующих значений:

$$[\sigma] = \min\left\{\frac{R_m^T}{n_m}; \frac{R_{p0,2}^T}{n_{0,2}}\right\}, \quad (6.1)$$

где n_m = 2,6; $n_{0,2}$ = 1,5.

6.3 Номинальное допускаемое напряжение для резьбовых соединений определяется по формуле

$$[\sigma]_w = \frac{R_{p0,2}^T}{n_{0,2}}, \quad (6.2)$$

где $n_{0,2}$ = 2.

7 Поверочный расчет

7.1 Определение напряженно-деформированного состояния

7.1.1 Напряженно-деформированное состояние МК (элементов МК) РБМК-1000, включая значения приведенных напряжений, определяются расчетным путем.

7.1.2 Распределения и значения остаточных сварочных напряжений, необходимых для расчетов на прочность МК РБМК-1000, принимаются на основании результатов численных расчетов. Рекомендации по определению остаточных сварочных напряжений приведены в приложении А.

7.2 Классификация напряжений

7.2.1 При проведении поверочного расчета все напряжения в элементах МК РБМК-1000 разделяются на категории. Напряжения, относящиеся к различным категориям, объединяют в группы категорий напряжений, которые сопоставляют с допускаемыми напряжениями.

7.2.2 При проведении поверочного расчета используются следующие категории напряжений:

- общие мембранные напряжения σ_m;
- местные мембранные напряжения σ_{mL};
- общие изгибные напряжения σ_b;
- местные изгибные напряжения σ_{bL};
- средние напряжения растяжения по сечению болта от механических нагрузок σ_{mw}.

7.2.3 Примерами напряжений, относящихся к категории общих мембранных напряжений σ_m, являются средние по толщине элемента МК РБМК-1000 напряжения растяжения (или сжатия), вызываемые механическими нагрузками.

7.2.4 Примерами напряжений, относящихся к категории местных мембранных напряжений σ_{mL}, являются средние по толщине элемента МК РБМК-1000 напряжения, от механических нагрузок в зонах соединения (взаимодействия) отдельных элементов МК РБМК-1000.

7.2.5 Примерами напряжений, относящихся к категории общих изгибных напряжений σ_b, являются напряжения изгиба, вызываемые действием механических нагрузок и вызывающих изгиб МК (элемента МК) РБМК-1000 в целом.

7.2.6 Примерами напряжений, относящихся к категории местных изгибных напряжений σ_{bL}, являются напряжения изгиба от действия механических нагрузок в зонах соединения (взаимодействия) отдельных МК (элементов МК) РБМК-1000.

7.2.7 Примерами напряжений, относящихся к категории местных напряжений в зонах концентрации, являются напряжения от механических нагрузок (в зонах отверстий, галтелей, переходов от основного металла к наплавленному в сварных соединениях и т.п.), определяемые с учетом коэффициента концентрации напряжений.

7.2.8 Категории напряжений, не приведенные в 7.2.2 и используемые при проведении расчетов, входящих в состав поверочного расчета, указаны в подразделах, устанавливающие требования к проведению расчетов, входящих в состав поверочного расчета.

7.2.9 При проведении поверочного расчета определяются приведенные напряжения (по теории максимальных касательных напряжений, в случае если не оговорено иного в соответствующем разделе) каждой группы, которые сопоставляются с соответствующими допускаемыми напряжениями.

7.2.10 Примеры объединения категорий напряжений в группы категорий $(\sigma)_1$, $(\sigma)_2$, $(\sigma)_{RV}$ для различных зон МК РБМК-1000 приведены в таблице 7.1.

7.2.11 В каждом расчетном случае для оценок прочности следует, на основании анализа механических напряжений, выбирать зоны МК (элемента МК) РБМК-1000, где наблюдаются локальные максимальные напряжения, а также зоны, в которых за время эксплуатации блока АС имело место деградация свойств металла (температурное старение, радиационное охрупчивание).

Таблица 7.1 — Примеры объединения категорий напряжений в группы для рассчитываемых зон МК (элементов МК) РБМК-1000

МК (элемент МК) РБМК-1000	Расчетная группа категорий напряжений	Категории напряжений, входящие в расчетную группу	Рассматриваемые нагрузки
Плиты схем «Е» и «ОР» (центральная часть)	$(\sigma)_2$, $(\sigma)_{RV}$	Общие изгибные	Весовые нагрузки
Обечайка схемы «Л», «Д» (гладкая часть)	$(\sigma)_1$	Общие мембранные	Весовые нагрузки (включая вес воды), гидростатическое давление
	$(\sigma)_2$	Общие или местные мембранные + общие изгибные	Весовые нагрузки (включая вес воды), гидростатическое давление
	$(\sigma)_{RV}$	Общие и/или местные мембранные + местные изгибные	Весовые нагрузки, гидростатическое давление
Схема «КЖ» (цилиндрическая часть)	$(\sigma)_1$	Общие мембранные	Давление в РП
Схема «КЖ» (зона соединения со схемой «Е» или «ОР»)	$(\sigma)_2$	Местные мембранные	Давление в РП
	$(\sigma)_{RV}$	Местные мембранные + местные изгибные	Давление в РП, перемещения соединяемых элементов
Схема «С»	$(\sigma)_1$	Общие мембранные	Весовые нагрузки
	$(\sigma)_2$	Общие мембранные + общие изгибные	
Компенсатор	$(\sigma)_1$	Общие мембранные	Давление среды

7.3 Порядок определения напряжений

Определение напряжений и деформаций в элементах МК РБМК-1000 проводят в соответствии с ГОСТ Р 59115.9.

7.4 Расчет на статическую прочность

7.4.1 Расчетом на статическую прочность должно быть подтверждено, что напряжения в МК РБМК-1000 не достигнут значений, вызывающих предельные состояния: кратковременное разрушение и возникновение пластической деформации по всей площади какого-либо из возможных сечений.

7.4.2 При расчете на статическую прочность проверяется выполнение условий прочности применительно ко всем расчетным нагрузкам, кроме динамических нагрузок.

7.4.3 Значения напряжений, определенные при расчете на статическую прочность элементов МК РБМК-1000, не должны превышать значений, указанных в таблицах 7.2 и 7.3. Значения $[\sigma]$, $[\sigma]_w$ определяются в соответствии с указаниями раздела 6.

7.4.4 Коэффициент снижения прочности стыковых, угловых и тавровых сварных соединений φ_w принимается равным 0,8.

7.4.5 Средние напряжения смятия не должны превышать $1{,}5R^T_{p0,2}$. В случае, если расстояние от края зоны приложения нагрузки до свободной кромки превышает размеры зоны, на которой действует нагрузка, допускаемые напряжения могут быть увеличены на 25 %.

7.4.6 Контактные напряжения для катковых опор определяются и оцениваются в соответствии с рекомендациями, приведенными в приложении Б.

7.4.7 Средние касательные напряжения элементов МК РБМК-1000, вызванные действием механических нагрузок, не должны превышать 0,5 [σ], а в резьбах — не должны превышать $0{,}25R^T_{p0,2}$.

7.4.8 Размахи приведенных напряжений $(\sigma)_{RV}$ в РВЭ должны быть не более

$$(\sigma)_{RV} \le \min\left\{\left(2{,}5 - \frac{R^T_{p0,2}}{R^T_m}\right)R^T_{p0,2}; 2R^T_{p0,2}\right\}.$$

При этом максимальные и минимальные (по абсолютной величине) значения приведенных напряжений, входящих в определение категорий $(\sigma)_{RV}$, не должны превышать R^T_m.

Таблица 7.2 — Расчетные группы категорий напряжений МК РБМК-1000

Тип конструкции	Расчетный случай (режим)	Группы категорий напряжений	
		$(\sigma)_1$	$(\sigma)_2$
Элементы металлоконструкций	РВЭ	[σ]	1,3 [σ]
Компенсирующие устройства	РВЭ	[σ]	—

Таблица 7.3 — Расчетные группы категорий напряжений для болтов и шпилек

Тип конструкции	Расчетный случай (режим)	Группы категорий напряжений		
		σ_{mw}	$(\sigma)_{3w}$	$(\sigma)_{4w}$
Болты и шпильки	РВЭ	$[\sigma]_w$	$1{,}3\,[\sigma]_w$	$1{,}7\,[\sigma]_w$

7.4.9 Требования 7.4.8 по размахам напряжений не распространяются для случаев использовании МК, установленных конструкторской (проектной) организацией, когда возможное искажение формы элемента МК не может повлиять на нормальные условия использования рассчитываемого элемента МК (нет недопустимых деформаций сопряженных деталей, отсутствует заклинивание катковых опор).

7.5 Расчет на внешние динамические воздействия

7.5.1 Расчет на сейсмические воздействия выполняется с учетом положений [1].

7.5.2 Расчет проводят для МК РБМК-1000 блоков АС с сейсмичностью площадки 5 баллов и выше. Необходимость расчетов МК РБМК-1000 блоков АС с сейсмичностью площадки менее 5 баллов определяется проектной (конструкторской) организацией.

7.5.3 Исходными данными для расчета являются:

- воздействия от землетрясений (ПЗ и МРЗ) в виде наборов поэтажных акселерограмм, поэтажных спектров ответа или обобщенного спектра ответа, определенных для элементов МК РБМК-1000 для трех взаимно перпендикулярных направлений (вертикального и двух горизонтальных);
- нагрузки при режимах РВЭ.

7.5.4 Сейсмические нагрузки на элементы МК РБМК-1000 определяются с учетом одновременного сейсмического воздействия в двух взаимно-перпендикулярных горизонтальных и вертикальном направлениях.

7.5.5 Значение относительного демпфирования принимается равным k = 0,02. При наличии экспериментального обоснования допускается использование других значений.

7.5.6 Расчет выполняют или линейно спектральным методом по спектрам ответа и/или методом динамического анализа по акселерограммам. Рекомендуемые методы расчета приведены в ГОСТ Р 59115.9. Для промежуточных отметок крепления элементов МК РБМК-1000, допускается величины спектров ответа определять линейной интерполяцией.

7.5.7 Определение напряжений и деформаций допускается проводить в предположении статического воздействия найденных расчетом сейсмических нагрузок на элементы МК РБМК-1000.

7.5.8 Напряжения в элементах МК РБМК-1000 должны удовлетворять требованиям таблицы 7.4.

Таблица 7.4 — Сочетание нагрузок и допускаемые напряжения для элементов МК РБМК-1000

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

7.5.9 Средние напряжения смятия $(\sigma_s)_s$ не должны превышать:

- 2,7 [σ] для сочетания нагрузок РВЭ+МРЗ;
- 2,5 [σ] для сочетания нагрузок РВЭ+ПЗ.

7.5.10 Средние касательные напряжения среза $(t_s)_s$ не должны превышать значений, приведенных в таблице 7.5.

Таблица 7.5 — Сочетание нагрузок и допускаемые касательные напряжения среза

Сочетание нагрузок	Расчетная группа категорий напряжений	Допускаемые напряжения	
		в болтах и шпильках	в элементах МК РБМК-1000, кроме болтов и шпилек
РВЭ+МРЗ	$(t_s)_s$	0,7 $[\sigma]_w$	0,7 [σ]
РВЭ+ПЗ	$(t_s)_s$	0,6 $[\sigma]_w$	0,6 [σ]

7.5.11 При расчете на устойчивость при сейсмическом воздействии допускаемые напряжения принимают:

при $\sigma_{kr} < R^T_{p0,2}$ $[\sigma_c] = 0,7\ \sigma_{kr}$;

при $\sigma_{kr} \geq R^T_{p0,2}$ $[\sigma_c] = 0,7R^T_{p0,2}$,

где σ_{kr} — критическое напряжение сжатия. Рекомендуемые методы расчета σ_{kr} приведены в ГОСТ Р 59115.9—2021 (раздел 9).

7.6 Расчет на устойчивость при статическом нагружении

7.6.1 Расчет на устойчивость при статическом нагружении выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ Р 59115.9—2021 (раздел 9).

7.6.2 В общем случае устойчивость обеспечена, если

$$\frac{\sigma_c}{[\sigma_c]} + \frac{p_a}{[p_a]} \leq 1,0, \qquad (7.1)$$

где σ_c, $[\sigma_c]$ — сжимающие напряжения, действующие и допускаемые соответственно;

p_a, $[p_a]$ — наружное давление, действующее и допускаемое соответственно.

7.7 Расчет на сопротивление разрушению элементов металлоконструкций РБМК-1000 схем «Е», «ОР», «С», «Д», «КЖ» и «Л»

7.7.1 Общие положения

7.7.1.1 Расчет на сопротивление разрушению элемента МК РБМК-1000 проводят для всех режимов использования МК РБМК-1000, реализуемых при ВЭ блока АС.

7.7.1.2 Расчетную оценку сопротивления элементов МК РБМК-1000 разрушению проводят по двум критериям:

- расчет по критерию инициирования разрушения;
- расчет по критерию торможения разрушения.

7.7.1.3 Первоначально проверяется сопротивление разрушению по критерию инициирования. Если условия прочности по этому критерию удовлетворяются, то считается, что прочность элемента МК РБМК-1000 обеспечена. В случае если условия прочности по критерию инициирования не удовлетворяются, то проводится расчет по критерию торможения разрушения.

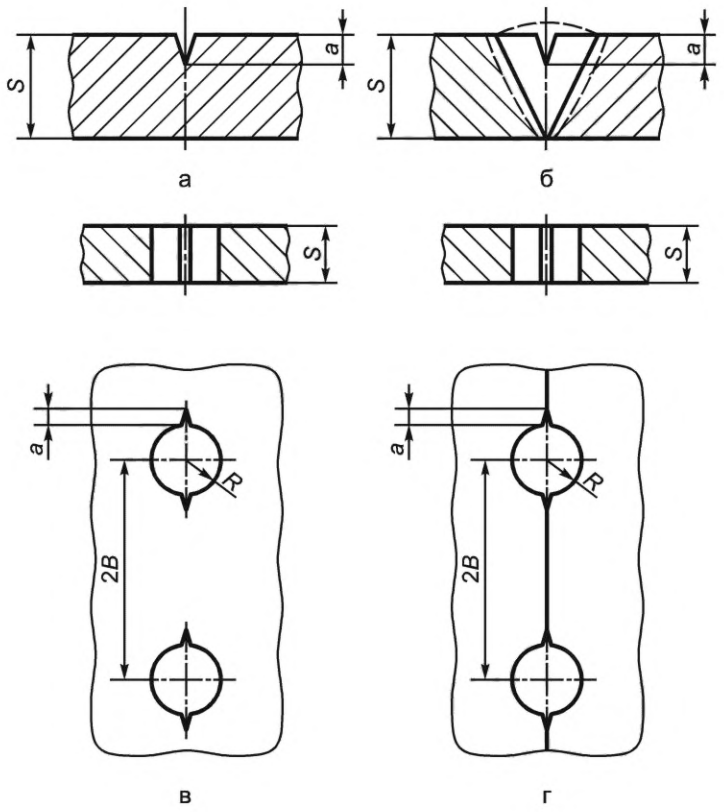
7.7.2 Исходные данные

7.7.2.1 Для расчета на сопротивление разрушению МК РБМК-1000 выбор расчетных зон и расчетных моментов времени осуществляется для каждого рассматриваемого режима использования МК РБМК-1000, реализуемого при ВЭ блока АС.

7.7.2.2 Обязательному анализу подлежат наиболее нагруженные зоны: сварные узлы схем «Е» и «ОР» с максимальным накопленным флюенсом нейтронов (нижняя плита схемы «Е» и верхняя плита схемы «ОР») и с минимальным отношением δ_c / δ_i.

7.7.2.3 Рассматриваются зоны МК РБМК-1000, расположенные в центре и вблизи от наружного края активной зоны, включая:

- зоны МК, где отсутствуют сварные швы и концентраторы напряжений, см. рисунок 7.1а;
- зоны МК, где присутствуют сварные швы, но отсутствуют прочие концентраторы напряжений, см. рисунок 7.1б;
- зоны МК с отверстиями при отсутствии в них сварных швов (подкрепление отверстий в расчете не учитывается), см. рисунок 7.1в;
- зоны МК с отверстиями при присутствии в них сварных швов (подкрепление отверстий в расчете не учитывается), см. рисунок 7.1г;
- зоны приварки вертикальных диафрагм и вертикальных листов к горизонтальным листам (тавровые швы), см. рисунок 7.1д;
- зоны приварки трактов технологических и специальных каналов, см. рисунок 7.1е.



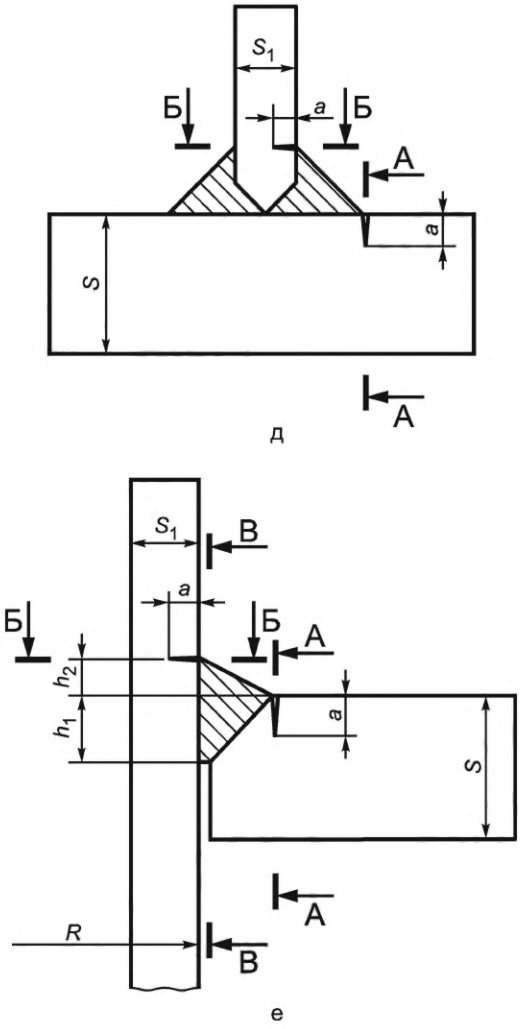


Рисунок 7.1 — Зоны элементов МК РБМК-1000, рассматриваемые при анализе сопротивления хрупкому разрушению

7.7.2.4 Кроме указанных зон расчет должен проводиться также для других зон схем «Е», «ОР», «С», «Д», «КЖ», и «Л», в случае если напряжения и характеристики сопротивления разрушению в них таковы, что может возникать опасность хрупкого разрушения.

7.7.2.5 Для выбранных зон определяют:

- геометрические характеристики рассматриваемых узлов несущих МК, к которым относят: толщину элементов, диаметр отверстий, высоту сварных швов;

- напряжения в рассматриваемой зоне по толщине элемента МК, в том числе: напряжения от механической нагрузки, основные и реактивные (фоновые) остаточные напряжения в основном металле и металле сварных швов. В расчете по критерию торможения разрушения вклад остаточных напряжений учитывается при построении диаграммы допускаемых напряжений, а в расчете по критерию инициирования разрушения — при определении параметра δ_i;

- основные характеристики материалов: критическое раскрытие в вершине трещины δ_c, критическая температура хрупкости T_k, предел текучести с учетом нейтронного облучения $(R^F_{p0,2})_T$, предела текучести $R^T_{p0,2}$.

7.7.2.6 Значение критической температуры хрупкости материала T_k принимается равным значению на момент окончания срока эксплуатации блока АС.

7.7.2.7 При анализе условий инициирования трещины расчетные характеристики $R^T_{p0,2}$, T_k, δ_c выбираются в зависимости от места расположения постулируемого дефекта. В случае расположения дефекта в основном металле расчетные характеристики должны соответствовать основному металлу. В случае расположения в зоне термического влияния или в металле шва расчетные характеристики должны соответствовать металлу шва.

7.7.2.8 Расчеты по критерию торможения разрушению и критерию инициирования разрушения проводят с использованием значения предела текучести материала $R^T_{p0,2}$. В случае необходимости выполняется уточненный расчет с использованием значения предела текучести $(R^F_{p0,2})_T$, определенного с учетом нейтронного облучения.

Далее для характеристик $R^T_{p0,2}$ или $(R^F_{p0,2})_T$ введено единое обозначение $\sigma^T_{p0,2}$.

7.7.3 Расчет на сопротивление разрушению по критерию инициирования разрушения

7.7.3.1 Выбор постулируемого расчетного дефекта

В качестве постулируемых расчетных дефектов принимаются:

- для зон, изображенных на рисунке 7.1а и б, расположенных в плитах схем «Е» и «ОР» и отстоящих от геометрических концентраторов напряжений, — поверхностную протяженную полуэллиптическую трещину с соотношением полуосей a / c = 0,1 глубиной a, изменяющейся в пределах от 0 до 0,25S; при этом длина одного интервала разбиения равна 1 мм;
- для зон МК, изображенных на рисунке 7.1в и г, — начинающуюся на контуре отверстия сквозную трещину длиной a < 0,125S, но не более 0,125(B – R), изменяющуюся в пределах от 0 до 0,125 S; при этом длина одного интервала разбиения равна 1 мм; здесь, 2B — расстояние между осями соседних отверстий, R — радиус отверстия;
- для зон МК приварки вертикальных листов и диафрагм к горизонтальным листам, изображенных на рисунке 7.1д, — поверхностную протяженную полуэллиптическую трещину с соотношением полуосей a / c = 0,1 глубиной a, изменяющейся в пределах от 0 до 0,25S (сечение А—А) или от 0 до 0,25S_1 (сечение Б—Б); при этом длина одного интервала разбиения равна 1 мм;
- для зон МК, изображенных на рисунке 7.1е, — поверхностную протяженную кольцевую трещину глубиной a, изменяющейся в пределах от 0 до 0,25S (сечение А—А плиты) или от 0 до 0,25S_1 (сечение Б—Б стенки трубы-тракта) или поверхностную кольцевую трещину (сечение В—В) глубиной, равной четверти высоты сварного шва $a \le 0{,}25\ (h_1 + h_2)$ с интервалом разбиения равного 1 мм.

7.7.3.2 Расчетные характеристики

а) Основной характеристикой материала, используемой в расчете на сопротивление инициированию разрушения, является критическое раскрытие в вершине трещины δ_c.

б) Зависимость δ_c от приведенной температуры $(T - T_k)$ для основного металла и сварных швов определяется по формуле

$$\delta_c = 0{,}11 \cdot \exp\left(0{,}03\ (T - T_k)\right). \tag{7.2}$$

В области приведенных температур $(T - T_k)$, превышающих 80 °С, значение δ_c, принимается равным значениям, рассчитанным по формуле (7.2) при $(T - T_k)$ = 80 °С.

7.7.3.3 Анализ условий прочности

а) Сопротивление хрупкому разрушению считается обеспеченным, если выполняется условие:

$$\delta_i \le \delta_c, \tag{7.3}$$

где δ_i — расчетное раскрытие в вершине постулированной трещины в рассматриваемом режиме использования МК РБМК-1000.

б) Раскрытие в вершине трещины определяется из выражения

$$\delta_i = \begin{cases} \dfrac{2\sigma^T_{p0,2} \cdot \left[\dfrac{\sum \sigma_i \cdot M_i}{\sigma^T_{p0,2}} - 0{,}5\right]}{E} \cdot \pi a \ \text{ при } \dfrac{\sum \sigma_i \cdot M_i}{\sigma^T_{p0,2}} > 1 \\ \dfrac{\left(\sum \sigma_i \cdot M_i\right)^2}{E \cdot \sigma^T_{p0,2}} \cdot \pi a \ \text{ при } \dfrac{\sum \sigma_i \cdot M_i}{\sigma^T_{p0,2}} \le 1 \end{cases}, \tag{7.4}$$

где a — расчетный характеристический размер трещины, установленный в соответствии с 7.8.3.1.

в) Составляющие напряжений растяжения и изгиба определяют по формулам

$$\sigma_{jp} = \frac{1}{S} \cdot \int_S \sigma_{jm} dx \ \text{ — составляющая напряжения растяжения,} \tag{7.5}$$

$$\sigma_{jq} = (\sigma_{jn} - \sigma_{jp}) \ \text{ — составляющая напряжения изгиба,} \tag{7.6}$$

где S — толщина элемента МК РБМК-1000;

σ_j — функция изменения напряжения по толщине элемента МК РБМК-1000 (j — координата y или z),

σ_{jn} — наибольшее значение σ_j на поверхности элемента.

г) Режим вывода из эксплуатации

Величина параметра $\sum M_i\sigma_i$ рассчитывается по следующей формуле:

$$\sum M_i\sigma_i = 2\cdot(M_p\sigma_{p1} + M_q\sigma_{q1} + M_\Phi\sigma_\Phi) + M_r\sigma_r, \quad (7.7)$$

где M_p, M_q, M_Φ, M_r — поправки, учитывающие геометрические соотношения рассматриваемой трещины и элемента МК РБМК-1000;

σ_{p1}, σ_{q1} — мембранные и изгибные напряжения;

σ_r — остаточные напряжения, рассчитанные по приведенной в приложении А методике;

σ_Φ — фоновые напряжения, приведенные в приложении А.

Для поверхностной полуэллиптической трещины в плитах (зоны на рисунке 7.1а и б):

$$M_p = \frac{1{,}11 + 5\cdot(a/S)^4}{1 - a/S},\ M_q = \sec\left(\frac{\pi\cdot a}{2\cdot S}\right),\ M_r\sigma_r = \Phi R^T_{p0,2}, \quad (7.8)$$

где Ф определяется по таблице А.1 приложения А.

Для зоны, изображенной на рисунке 7.1в:

$$M_p = \sec\frac{\pi(a+R)}{2B},\ M_q = M_p,\ M_r = \sec\left(\frac{\pi}{2}\cdot\frac{a}{B-R}\right). \quad (7.9)$$

Для зоны, изображенной на рисунке 7.1г (сечение А—А):

$$M_p = \frac{1{,}11 + 5\cdot(a/S)^4}{1 - a/S},\ M_q = \sec\left(\frac{\pi\cdot a}{2\cdot S}\right),\ M_r\sigma_r = \Phi R^T_{p0,2}, \quad (7.10)$$

где Ф определяется по таблице А.1 приложения А.

Для зоны, изображенной на рисунке 7.1г (сечение Б—Б):

$$M_p = \frac{1{,}11 + 5\cdot(a/S_1)^4}{1 - a/S_1},\ M_q = \sec\left(\frac{\pi\cdot a}{2\cdot S_1}\right),\ M_r\sigma_r = \Phi R^T_{p0,2}, \quad (7.11)$$

где Ф определяется по таблице А.1 приложения А. Для зоны, изображенной на рисунке 7.1д (сечение А—А):

$$M_p = \frac{1{,}11 + 5\cdot(a/S)^4}{1 - a/S},\ M_q = \sec\left(\frac{\pi\cdot a}{2\cdot S}\right),\ M_r\sigma_r = \Phi R^T_{p0,2}, \quad (7.12)$$

где Ф определяется по таблице А.1 приложения А.

Для зоны, изображенной на рисунке 7.1д (сечение Б—Б):

$$M_p = \frac{1{,}11 + 5\cdot(a/S_1)^4}{1 - a/S_1},\ M_q = \sec\left(\frac{\pi\cdot a}{2\cdot S_1}\right),\ M_r\sigma_r = \Phi R^T_{p0,2}, \quad (7.13)$$

где Ф определяется по таблице А.1 приложения А.

Для зоны, изображенной на рисунке 7.1е (сечение В—В):

$$M_p = \frac{1{,}11 + 5\cdot\left(\frac{a}{h_1+h_2}\right)^4}{1 - \frac{a}{h_1+h_2}},\ M_q = \sec\frac{\pi a}{2(h_1+h_2)},\ M_r\sigma_r = 0. \quad (7.14)$$

Значение поправки M_Φ принимается равной значению M_p.

д) Внешние динамические воздействия

Параметр $\sum M_i\sigma_i$ определяется по формуле

$$\sum M_i\sigma_i = 1{,}1\cdot(M_p\sigma_{p1} + M_q\sigma_{q1} + M_\Phi\sigma_\Phi) + M_r\sigma_r. \quad (7.15)$$

е) Остаточные основные и реактивные (фоновые) напряжения, возникающие при выполнении сварных узлов МК РБМК-1000, определять путем решения МКЭ задачи. Для типовых сварных узлов значения коэффициента Ф и уровень фоновых остаточных приведены в приложении А.

7.7.3.4 Порядок проведения расчета:

а) устанавливают перечень конкретных расчетных режимов и осуществляется выбор расчетной зоны;

б) проводят схематизацию расчетной зоны; осуществляется выбор опасных сечений и расчетного дефекта;

в) определяют свойства материала в рассматриваемой зоне МК РБМК-1000: $R^T_{p0,2}$, E, T_k, $(R^F_{p0,2})_T$;

г) рассчитывают значение приведенной температуры $(T - T_k)$ по сечению элемента, определяется критическое раскрытие трещины δ_c;

д) определяют распределения напряжений от механической нагрузки и распределение остаточных напряжений по длине и толщине элемента МК РБМК-1000. Устанавливаются значения напряжений на наружной и внутренней поверхностях и рассчитываются значения мембранных и изгибных напряжений;

е) для полученных по формулам (7.7) и (7.15) значений M_i σ_i раскрытие в вершине трещины δ_i рассчитывают по формулам (7.4) для разных глубин трещины a при соотношении полуосей a / c = 0,1;

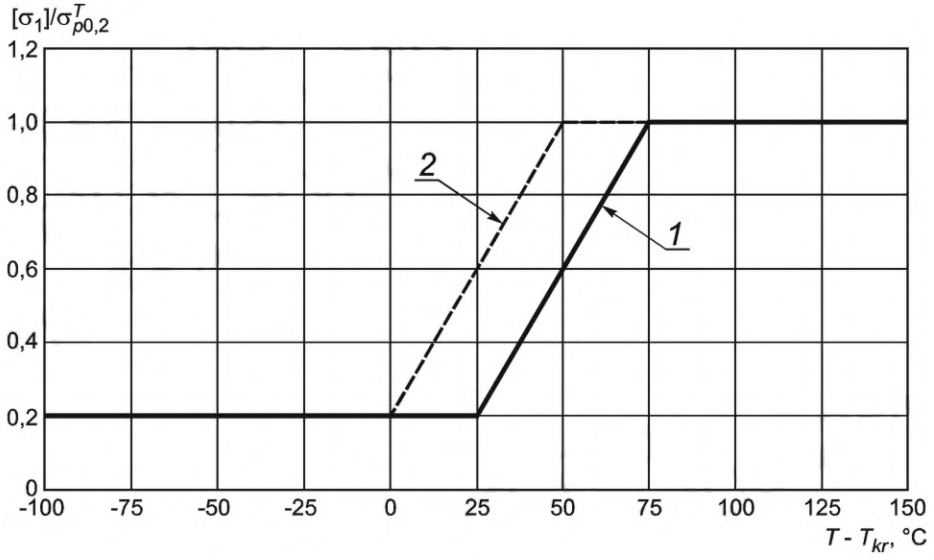
ж) анализируют выполнение условия сопротивления разрушению (7.3).

7.7.4 Расчет на сопротивление разрушению по критерию торможения разрушения

7.7.4.1 Анализ условий прочности:

- проверку сопротивления элементов МК РБМК-1000 хрупкому разрушению в рассматриваемых режимах проводят по диаграмме допускаемых напряжений (рисунок 7.2), которая построена для элементов толщиной $S \le 40$ мм в обобщенных координатах $[\sigma_1]/\sigma^T_{p0,2}$ и $(T - T_k)$;

- на рисунке 7.2 по оси абсцисс отложена приведенная температура $(T - T_k)$, представляющая собой разность между температурой в рассматриваемой зоне и критической температурой хрупкости материала, а по оси ординат — отношение эквивалентного растягивающего напряжения, действующего в рассматриваемой точке конструкции, к величине предела текучести $\sigma_1/\sigma^T_{p0,2}$. Допускаемое сочетание приведенных температур и напряжений определяется координатами точек ниже и правее линий допускаемых напряжений $[\sigma_1]/\sigma^T_{p0,2}$;



1 — режим РВЭ; *2* — режим ПЗ, МРЗ

Рисунок 7.2 — Диаграмма допускаемых напряжений в элементах МК РБМК-1000 по критериям торможения разрушения

- действующее в рассматриваемой зоне элемента МК РБМК-1000 напряжение σ_1 определяют как сумму составляющих напряжений растяжения σ_p и напряжений изгиба σ_q, рассчитанных в соответствии с 7.7.3.3в). Составляющая напряжения растяжения определяется как сумма мембранных напряжений от механической нагрузки и фоновых сварочных напряжений. При определении составляющей напряжения изгиба учитывают напряжения от механической нагрузки.

7.7.4.2 Порядок проведения расчета:

а) определют перечень расчетных режимов и осуществляют выбор расчетной зоны;

б) определяют свойства материала в рассматриваемой зоне МК РБМК-1000 в конце оцениваемого периода использования МК: критическая температура хрупкости T_k, значение предела текучести $\sigma^T_{p0,2}$ ($R^T_{p0,2}$ или $(R^F_{p0,2})_T$). Определяется приведенная температура ($T - T_k$);

в) в соответствии с 7.7.4.1 для расчетной зоны и температуры определяеют действующее эквивалентное растягивающее напряжение σ_1 и отношение $\sigma_1/\sigma^T_{p0,2}$;

г) в соответствии с 7.7.4.1 для заданного режима и приведенной температуры ($T - T_k$) по диаграмме (рисунок 7.2) устанавливается допустимость напряженного состояния рассматриваемого элемента МК РБМК-1000 по критерию торможения разрушения.

7.7.5 Расчет на сопротивление разрушению элементов металлоконструкций РБМК-1000 с выявленными несплошностями

7.7.5.1 В случае, если размеры выявленных несплошностей превосходят допускаемые по нормам оценки качества металла, необходимо провести расчет на сопротивление разрушению по критерию инициирования разрушения и критерию торможения разрушения в следующей последовательности.

7.7.5.2 В соответствии с положениями ГОСТ Р 59115.11 проводится схематизация несплошности в виде эллиптического (внутренний дефект) или полуэллиптического (поверхностный дефект) трещиноподобного дефекта. Размеры и ориентация схематизированного дефекта выбираются таким образом, чтобы обеспечить консервативные оценки прочности. В случае если выявленная несплошность является объемной, то плоскость схематизированного дефекта должна быть ориентирована перпендикулярно максимальным растягивающим напряжениям, действующим в рассматриваемом режиме нагружения.

7.7.5.3 Расчет по критерию инициирования разрушения проводится для схематизированной по 7.7.5.2 несплошности. Для рассматриваемых режимов определяется раскрытие в вершине трещины δ_i, которое сопоставляется с критическим раскрытием δ_c.

7.7.5.4 В случае невыполнения критерия инициирования разрушения выполняется оценка по критерию торможения разрушения для элемента, в котором обнаружена несплошность, в соответствии с требованиями 7.7.4.

Приложение А
(рекомендуемое)

Остаточные сварочные напряжения

Распределение остаточных сварочных напряжений в типовых сварных узлах МК РБМК-1000, представленных на рисунках А.1 — А.3, приведено на эпюре, представленной на рисунке А.4.

Примечание — Эпюры получены путем численного решения МКЭ.

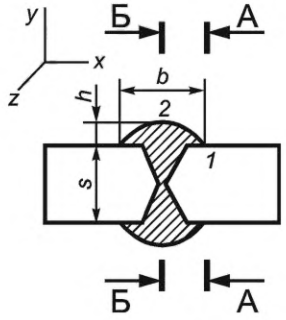


Рисунок А.1 — Схематизация фрагмента МК РБМК-1000 в районе стыкового сварного соединения

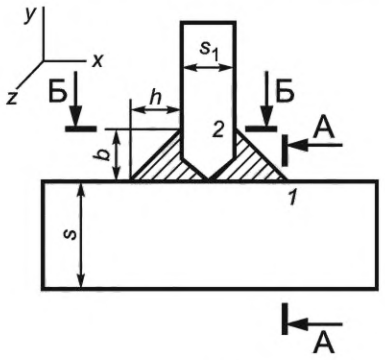


Рисунок А.2 — Схематизация фрагмента МК РБМК-1000 в районе таврового сварного соединения

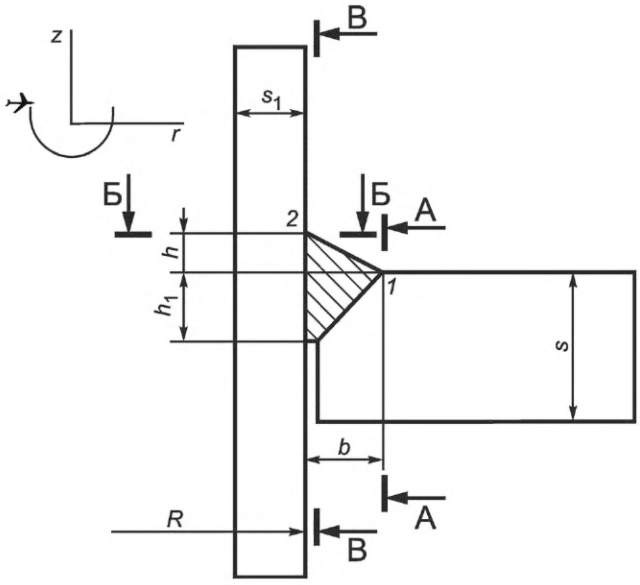


Рисунок А.3 — Схематизация фрагмента МК РБМК-1000 в районе штуцерного сварного соединения (вварки трубы тракта в плиту)

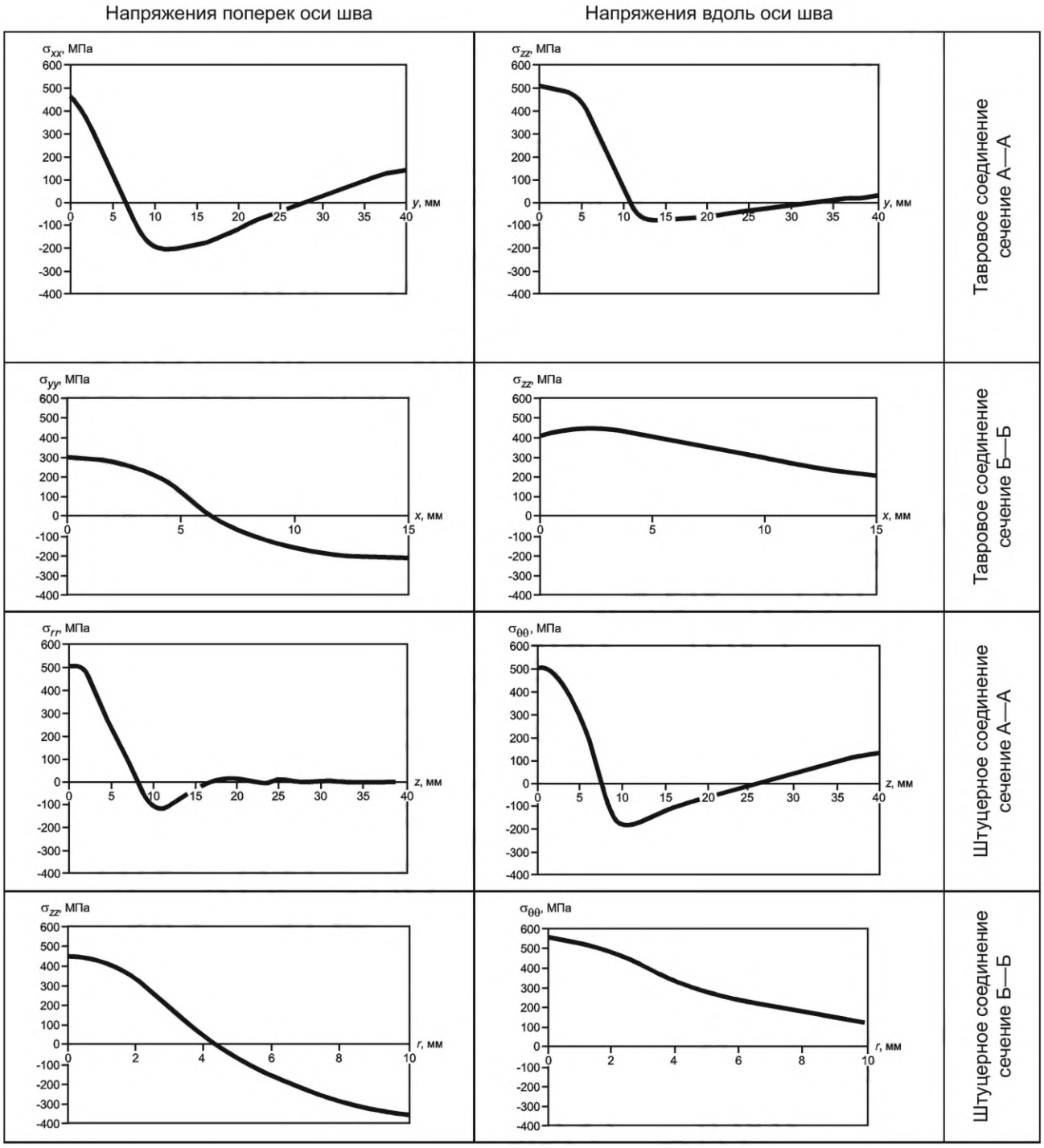


Рисунок А.4 — Эпюры распределения поперечных и продольных остаточных сварочных напряжений в сварных узлах МК РБМК-1000

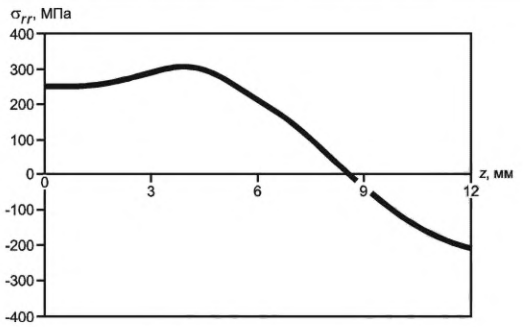
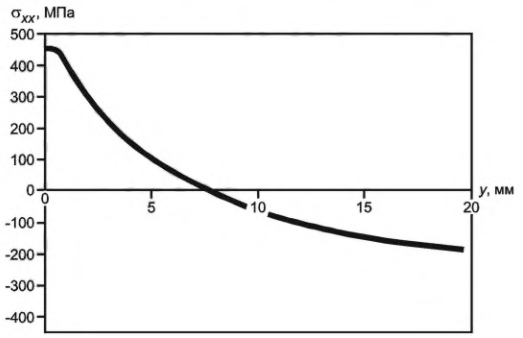
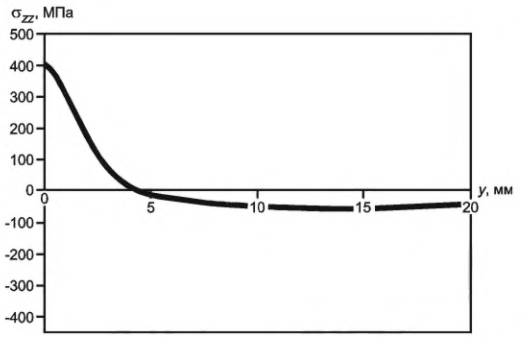
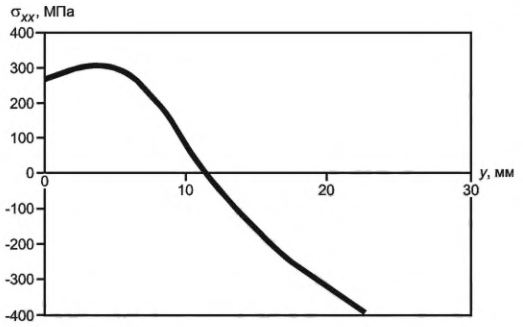
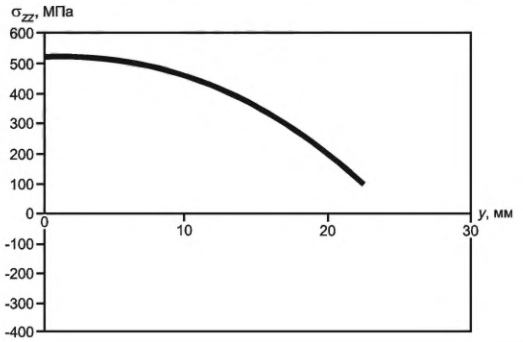
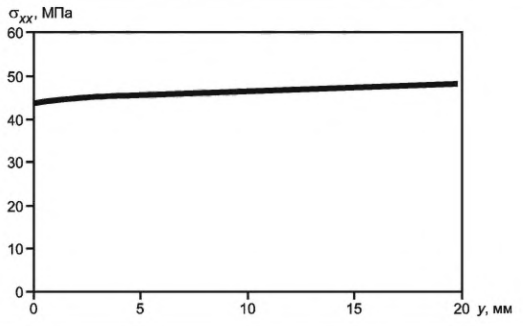
Напряжения поперек оси шва	Напряжения вдоль оси шва	
	—	Штуцерное соединение сечение В—В (непровар)
		Стыковое соединение сечение А—А
		Стыковое соединение сечение Б—Б
	—	Фоновые напряжения

Рисунок А.4, лист 2

А.1 Остаточные напряжения разделяются на основные, возникающие при выполнении рассматриваемого сварного соединения и действующие вблизи него, и реактивные (фоновые), действующие в рассматриваемой зоне после выполнения соседних сварных узлов.

А.2 При проведении расчета на сопротивление разрушению по критериям инициирования хрупкой трещины вклад остаточных напряжений в общий уровень нагруженности оценивается путем определения параметра $M_r\,\sigma_r$. Значения этого параметра рассчитывают по формуле: $M_r\sigma_r = \Phi R_{p0,2}^{20^o}$. Коэффициент Ф для различных расчетных случаев определяется по таблице А.1.

Таблица А.1 — Значения коэффициента Ф для типовых сварных узлов

Тип соединения	Коэффициент Ф при a, мм									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тавровое соединение (сечение А—А)	1,10	1,03	0,94	0,86	0,77	0,68	0,58	0,50	0,42	0,34
Тавровое соединение (сечение Б—Б)	0,74	0,74	0,73	0,70	0,66	0,59	0,52	0,46	0,40	0,35
Штуцерное соединение (сечение А—А)	1,27	1,25	1,18	1,12	1,04	0,97	0,90	0,83	0,76	0,69
Штуцерное соединение (сечение Б—Б)	1,11	1,13	1,13	1,17	1,28	—	—	—	—	—
Стыковое соединение (сечение А—А)	1,09	0,96	0,84	0,75	0,67	0,61	0,55	0,50	0,46	0,42
Стыковое соединение (сечение Б—Б)	0,66	0,68	0,70	0,72	0,75	0,77	0,77	0,77	0,75	0,73

Приложение Б
(справочное)

Оценка прочности катковых опор

Б.1 Оценка контактных напряжений в катковых опорах

Б.1.1 Катковая опора представляет собой цилиндр (каток) зажатый между двумя пластинами.

Б.1.2 Оценка контактных напряжений в катковых опорах проводится по средним и максимальным напряжениям.

Б.1.3 Расчетные схемы, используемые при оценке прочности катковой опоры, и параметры напряженно-деформированного состояния представлены в таблице Б.1.

Средние напряжения вычисляют по формуле

$$\sigma^{mid} = \frac{P}{2R_1 l}, \tag{Б.1}$$

где R_1 — радиус катка.

Значение средних напряжений не должно превышать величины

$$\sigma^{mid} \le 0{,}025\frac{R_m^T}{\gamma_m}, \tag{Б.2}$$

где $\gamma = 1{,}1$.

Максимум приведенного напряжения достигается на расстоянии 0,786 b от места контакта вглубь контактирующих тел и составляет

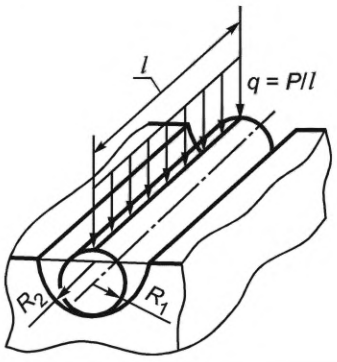
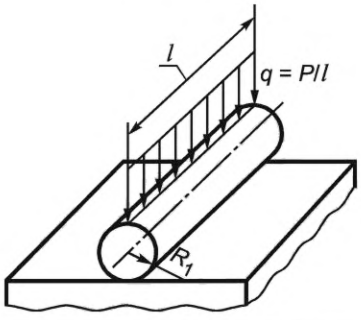
$$\sigma_{13}^{\max} = \frac{p_{\max}}{1{,}67}. \tag{Б.3}$$

Значение максимального приведенного напряжения не должно превышать предел прочности материала

$$\sigma_{13}^{\max} \le R_m^T. \tag{Б.4}$$

В случае неудовлетворения требований по средним или максимальным напряжениям допускается обосновывать прочность катковой опоры с использованием упругопластического расчета.

Таблица Б.1 — Расчетные схемы и параметры напряженно-деформированного состояния катковой опоры

Схема контакта	Максимальное давление в зоне контакта $p_{\max}$	Полуширина полоски контакта b
	$0{,}5642\sqrt{\frac{P}{l}\frac{\frac{R_2-R_1}{R_1R_2}}{\frac{1-\mu_1^2}{E_1}+\frac{1-\mu_2^2}{E_2}}}$	$1{,}128\cdot\sqrt{\frac{P}{l}\frac{R_1R_2}{R_2-R_1}\left(\frac{1-\mu_1^2}{E_1}+\frac{1-\mu_2^2}{E_2}\right)}$
	$0{,}5642\sqrt{\frac{\frac{P}{lR_1}}{\frac{1-\mu_1^2}{E_1}+\frac{1-\mu_2^2}{E_2}}}$	$1{,}131\cdot\sqrt{\frac{PR_1}{l}\left(\frac{1-\mu_1^2}{E_1}+\frac{1-\mu_2^2}{E_2}\right)}$

Окончание таблицы Б.1

Примечание — Обозначения, принятые в таблице: R_1 — радиус катка; R_2 — радиус ответной контактирующей поверхности; E_1, μ_1 — модуль упругости и коэффициент Пуассона материала катка; E_2, μ_2 — модуль упругости и коэффициент Пуассона материала ответной контактирующей поверхности.

Б.1.4 Упругопластический расчет проводится в предположении плоского деформированного состояния с использованием идеальной упругопластической диаграммы состояния материалов элементов катковых опор.

Пример расчетной схемы решения контактной задачи с использованием МКЭ приведен на рисунке Б.1. Для верификации используемой расчетной схемы решается тестовая задача контакта в упругой постановке. Результаты решения должны удовлетворительно коррелироватъся с результатами, полученными по формулам, приведенным выше.

Оценка прочности элементов катковой опоры проводится по двум критериям:

а) максимальная пластическая деформация для сталей с $A^T > 10$ % не должна превышать 1 %, для сталей с $A^T < 10$ % — величины $A^T / 10$ (A^T — относительное удлинение образца после разрыва при температуре T, %);

б) область, в которой приведенные напряжения достигли предела текучести, не должна превышать 10 % от величины поперечного сечения контактирующих элементов (катка или основания).

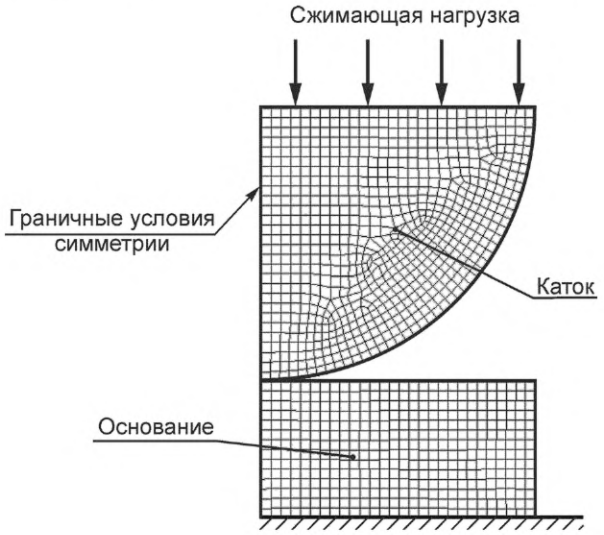


Рисунок Б.1 — Пример расчетной схемы катковой опоры

Б.1.5 Подходы, изложенные в Б.1.1 — Б.1.4, к оценке прочности элементов катковых опор распространяются как на случаи статического нагружения, так и на случай сейсмического воздействия.

Б.1.6 При наличии данных об изменении прочностных свойств материалов элементов опор при высокоскоростном нагружении допускается их использование при оценке прочности при динамическом воздействии.

Б.2 Рекомендации к составлению расчетной схемы металлоконструкции схемы «Е»

Расчетная схема МК схемы «Е» идеализируется как сплошная круглая плита, закрепленная в 16 точках особым образом. Радиальные перемещения в закрепленных точках разрешены, остальные запрещены. Таким образом, при воздействии горизонтальной силы любого направления как минимум 14 катковых опор противодействуют приложенной силе. Расчетная схема изображена на рисунке Б.2.

Для снижения консерватизма расчетной схемы рекомендуется учесть жесткость компенсаторов между схемами «Е» и «Д» и между схемами «Е» и «Л». В случае наличия ямок по линии контакта катков с плитами катковых опор необходимо учесть силу сопротивления выкатыванию катков из ямок.

По полученным силам в катковых опорах необходимо оценить прочие элементы опор с использованием ограничений по категориям напряжений.

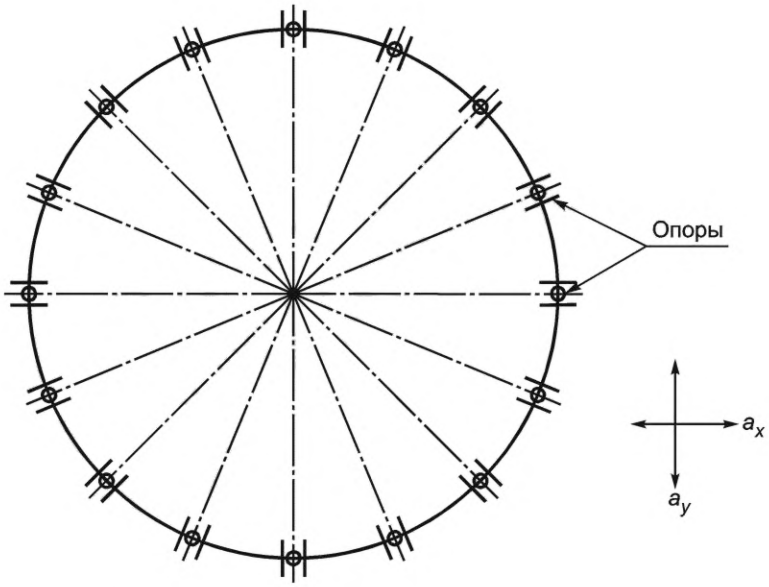


Рисунок Б.2 — Расчетная схема металлоконструкции схемы «Е»

Библиография

[1] Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии НП-031-01 Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций

УДК 621.039:531:006.354 ОКС 27.120.20

Ключевые слова: металлоконструкции, прочность, поверочный расчет, вывод из эксплуатации

Редактор *Л.В. Коретникова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 29.12.2022. Подписано в печать 13.01.2023. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,26. Уч.-изд. л. 2,93.

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