

# Нормы безопасности МАГАТЭ

для защиты людей и охраны окружающей среды

## Проектирование системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем атомных электростанций

Руководство по безопасности  
№ SSG-56



**IAEA**

Международное агентство по атомной энергии

# НОРМЫ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ И ДРУГИЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ДАННОЙ ТЕМЕ

## НОРМЫ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ

В соответствии со статьей III своего Устава МАГАТЭ уполномочено устанавливать или принимать нормы безопасности для защиты здоровья и сведения к минимуму опасностей для жизни и имущества и обеспечивать применение этих норм.

**Публикации, посредством которых МАГАТЭ устанавливает нормы, выпускаются в Серии норм безопасности МАГАТЭ.** В этой серии охватываются вопросы ядерной безопасности, радиационной безопасности, безопасности перевозки и безопасности отходов. **Категории публикаций в этой серии — это Основы безопасности, Требования безопасности и Руководства по безопасности.**

Информацию о программе по нормам безопасности МАГАТЭ можно получить на сайте МАГАТЭ в Интернете

[www.iaea.org/ru/resursy/normy-bezopasnosti](http://www.iaea.org/ru/resursy/normy-bezopasnosti)

На этом сайте содержатся тексты опубликованных норм безопасности и проектов норм безопасности на английском языке. Тексты норм безопасности выпускаются на арабском, испанском, китайском, русском и французском языках, там также можно найти глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности и доклад о ходе работы над еще не выпущенными нормами безопасности. Для получения дополнительной информации просьба обращаться в МАГАТЭ по адресу: Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria.

Всем пользователям норм безопасности МАГАТЭ предлагается сообщать МАГАТЭ об опыте их использования (например, в качестве основы для национальных регулирующих положений, для составления обзоров безопасности и учебных курсов) в целях обеспечения того, чтобы они по-прежнему отвечали потребностям пользователей. Эта информация может быть направлена через сайт МАГАТЭ в Интернете или по почте (см. адрес выше), или по электронной почте по адресу [Official.Mail@iaea.org](mailto:Official.Mail@iaea.org).

## ПУБЛИКАЦИИ ПО ДАННОЙ ТЕМЕ

МАГАТЭ обеспечивает применение норм и в соответствии со статьями III и VIII.C своего Устава предоставляет сведения и способствует обмену информацией, касающейся мирной деятельности в ядерной области, и служит в этом посредником между своими государствами-членами.

Доклады по вопросам безопасности в ядерной деятельности выпускаются в качестве **докладов по безопасности**, в которых приводятся практические примеры и подробные описания методов, которые могут использоваться в поддержку норм безопасности.

Другие публикации МАГАТЭ по вопросам безопасности выпускаются в качестве публикаций по **аварийной готовности и реагированию, докладов по радиологическим оценкам, докладов ИНСАГ** — Международной группы по ядерной безопасности, **технических докладов** и документов серии **ТЕСДОС**. МАГАТЭ выпускает также доклады по радиологическим авариям, учебные пособия и практические руководства, а также другие специальные публикации по вопросам безопасности.

Публикации по вопросам физической безопасности выпускаются в **Серии изданий МАГАТЭ по физической ядерной безопасности**.

**Серия изданий МАГАТЭ по ядерной энергии** состоит из информационных публикаций, предназначенных способствовать и содействовать научно-исследовательской работе в области ядерной энергии, а также развитию ядерной энергии и ее практическому применению в мирных целях. В ней публикуются доклады и руководства о состоянии технологий и успехах в их совершенствовании, об опыте, образцовой практике и практических примерах в области ядерной энергетики, ядерного топливного цикла, обращения с радиоактивными отходами и снятия с эксплуатации.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ  
ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ РЕАКТОРА  
И СВЯЗАННЫХ С НЕЙ СИСТЕМ  
АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Членами Международного агентства по атомной энергии являются следующие государства:

АВСТРАЛИЯ	ЙЕМЕН	ПОЛЬША
АВСТРИЯ	КАБО-ВЕРДЕ	ПОРТУГАЛИЯ
АЗЕРБАЙДЖАН	КАЗАХСТАН	РЕСПУБЛИКА МОЛДОВА
АЛБАНИЯ	КАМБОДЖА	РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ
АЛЖИР	КАМЕРУН	РУАНДА
АНГОЛА	КАНАДА	РУМЫНИЯ
АНТИГУА И БАРБУДА	КАТАР	САЛЬВАДОР
АРГЕНТИНА	КЕНИЯ	САМОА
АРМЕНИЯ	КИПР	САН-МАРИНО
АФГАНИСТАН	КИТАЙ	САУДОВСКАЯ АРАВИЯ
БАГАМСКИЕ ОСТРОВА	КОЛУМБИЯ	СВЯТОЙ ПРЕСТОЛ
БАНГЛАДЕШ	КОМОРСКИЕ ОСТРОВА	СЕВЕРНАЯ МАКЕДОНИЯ
БАРБАДОС	КОНГО	СЕЙШЕЛЬСКИЕ ОСТРОВА
БАХРЕЙН	КОРЕЯ, РЕСПУБЛИКА	СЕНЕГАЛ
БЕЛАРУСЬ	КОСТА-РИКА	СЕНТ-ВИНСЕНТ И ГРЕНАДИНЫ
БЕЛИЗ	КОТ-Д'ИВУАР	СЕНТ-КИТС И НЕВИС
БЕЛЬГИЯ	КУБА	СЕНТ-ЛЮСИЯ
БЕНИН	КУВЕЙТ	СЕРБИЯ
БОЛГАРИЯ	КЫРГЫЗСТАН	СИНГАПУР
БОЛИВИЯ, МНОГОНАЦИОНАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВО	ЛАОССКАЯ НАРОДНО- ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА	СИРИЙСКАЯ АРАБСКАЯ РЕСПУБЛИКА
БОСНИЯ И ГЕРЦЕГОВИНА	ЛАТВИЯ	СЛОВАКИЯ
БОТСВАНА	ЛЕСОТО	СЛОВЕНИЯ
БРАЗИЛИЯ	ЛИБЕРИЯ	СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО ВЕЛИКОБРИТАНИИ И СЕВЕРНОЙ ИРЛАНДИИ
БРУНЕЙ-ДАРУССАЛАМ	ЛИВАН	СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ
БУРКИНА-ФАСО	ЛИВИЯ	СУДАН
БУРУНДИ	ЛИТВА	СЬЕРРА-ЛЕОНЕ
ВАНУАТУ	ЛИХТЕНШТЕЙН	ТАДЖИКИСТАН
ВЕНГРИЯ	ЛЮКСЕМБУРГ	ТАИЛАНД
ВЕНЕСУЭЛА, БОЛИВАРИАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА	МАВРИКИЙ	ТОГО
ВЬЕТНАМ	МАВРИТАНИЯ	ТОНГА
ГАБОН	МАДАГАСКАР	ТРИНИДАД И ТОБАГО
ГАИТИ	МАЛАВИ	ТУНИС
ГАЙАНА	МАЛАЙЗИЯ	ТУРКМЕНИСТАН
ГАМБИЯ	МАЛИ	ТУРЦИЯ
ГАНА	МАЛЬТА	УГАНДА
ГВАТЕМАЛА	МАРОККО	УЗБЕКИСТАН
ГВИНЕЯ	МАРШАЛЛОВЫ ОСТРОВА	УКРАИНА
ГЕРМАНИЯ	МЕКСИКА	УРУГВАЙ
ГОНДУРАС	МОЗАМБИК	ФИДЖИ
ГРЕНАДА	МОНАКО	ФИЛИППИНЫ
ГРЕЦИЯ	МОНГОЛИЯ	ФИНЛЯНДИЯ
ГРУЗИЯ	МЬЯНМА	ФРАНЦИЯ
ДАНИЯ	НАМИБИЯ	ХОРВАТИЯ
ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА КОНГО	НЕПАЛ	ЦЕНТРАЛЬНОАФРИКАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА
ДЖИБУТИ	НИГЕР	ЧАД
ДОМИНИКА	НИГЕРИЯ	ЧЕРНОГОРИЯ
ДОМИНИКАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА	НИДЕРЛАНДОВ, КОРОЛЕВСТВО	ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА
ЕГИПЕТ	НИКАРАГУА	ЧИЛИ
ЗАМБИЯ	НОВАЯ ЗЕЛАНДИЯ	ШВЕЙЦАРИЯ
ЗИМБАБВЕ	НОРВЕГИЯ	ШВЕЦИЯ
ИЗРАИЛЬ	ОБЪЕДИНЕННАЯ РЕСПУБЛИКА ТАНЗАНИЯ	ШРИ-ЛАНКА
ИНДИЯ	ОБЪЕДИНЕННЫЕ АРАБСКИЕ ЭМИРАТЫ	ЭКВАДОР
ИНДОНЕЗИЯ	ОМАН	ЭРИТРЕЯ
ИОРДАНИЯ	ПАКИСТАН	ЭСВАТИНИ
ИРАК	ПАЛАУ	ЭСТОНИЯ
ИРАН, ИСЛАМСКАЯ РЕСПУБЛИКА	ПАНАМА	ЭФИОПИЯ
ИРЛАНДИЯ	ПАПУА — НОВАЯ ГВИНЕЯ	ЮЖНАЯ АФРИКА
ИСЛАНДИЯ	ПАРАГВАЙ	ЯМАЙКА
ИСПАНИЯ	ПЕРУ	ЯПОНИЯ
ИТАЛИЯ		

Устав Агентства был утвержден 23 октября 1956 года на Конференции по выработке Устава МАГАТЭ, которая состоялась в Центральных учреждениях Организации Объединенных Наций в Нью-Йорке. Устав вступил в силу 29 июля 1957 года. Центральные учреждения Агентства находятся в Вене. Главной целью Агентства является достижение «более скорого и широкого использования атомной энергии для поддержания мира, здоровья и благосостояния во всем мире».

СЕРИЯ НОРМ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ, № SSG-56

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ  
ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ РЕАКТОРА  
И СВЯЗАННЫХ С НЕЙ СИСТЕМ  
АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

СПЕЦИАЛЬНОЕ РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ

МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ  
ВЕНА, 2024

## УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКОМ ПРАВЕ

Все научные и технические публикации МАГАТЭ защищены положениями Всемирной конвенции об авторском праве, принятой в 1952 году (Берн) и пересмотренной в 1972 году (Париж). Впоследствии авторские права были распространены Всемирной организацией интеллектуальной собственности (Женева) также на интеллектуальную собственность в электронной и виртуальной форме. Для полного или частичного использования текстов, содержащихся в печатных или электронных публикациях МАГАТЭ, должно быть получено разрешение, которое обычно оформляется соглашениями типа роялти. Предложения о некоммерческом воспроизведении и переводе приветствуются и рассматриваются в каждом случае в отдельности. Вопросы следует направлять в Издательскую секцию МАГАТЭ по адресу:

Группа маркетинга и сбыта (Marketing and Sales Unit)  
Издательская секция  
Международное агентство по атомной энергии  
Венский международный центр,  
а/я 100,  
А1400 Вена, Австрия  
Факс: +43 1 26007 22529  
Тел.: +43 1 2600 22417  
Эл. почта: [sales.publications@iaea.org](mailto:sales.publications@iaea.org)  
<https://www.iaea.org/ru/publikacii>

© МАГАТЭ, 2024

Отпечатано МАГАТЭ в Австрии  
март, 2024  
STI/PUB/1878

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ РЕАКТОРА И  
СВЯЗАННЫХ С НЕЙ СИСТЕМ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ  
МАГАТЭ, ВЕНА, 2024 ГОД

STI/PUB/1878

ISBN 978-92-0-442123-1 (печатный формат)

ISBN 978-92-0-441923-8 (формат pdf) | ISBN 978-92-0-442023-4 (формат  
epub)

ISSN 1020-5845

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Устав МАГАТЭ уполномочивает Агентство «устанавливать или применять ... нормы безопасности для охраны здоровья и сведения к минимуму опасности для жизни и имущества» — нормы, которые МАГАТЭ должно использовать в своей собственной работе и которые государства могут применять посредством их включения в свои регулирующие положения в области ядерной и радиационной безопасности. МАГАТЭ осуществляет это в консультации с компетентными органами Организации Объединенных Наций и с заинтересованными специализированными учреждениями. Всеобъемлющий свод высококачественных и регулярно пересматриваемых норм безопасности наряду с помощью МАГАТЭ в их применении является ключевым элементом стабильного и устойчивого глобального режима безопасности.

МАГАТЭ начало осуществлять свою программу по нормам безопасности в 1958 году. Значение, уделяемое качеству, соответствию поставленной цели и постоянному совершенствованию, лежит в основе широкого применения норм МАГАТЭ во всем мире. Серия норм безопасности теперь включает единообразные основополагающие принципы безопасности, которые выработаны на основе международного консенсуса в отношении того, что должно пониматься под высоким уровнем защиты и безопасности. При твердой поддержке со стороны Комиссии по нормам безопасности МАГАТЭ проводит работу с целью содействия глобальному признанию и использованию своих норм.

Однако нормы эффективны лишь тогда, когда они надлежащим образом применяются на практике. Услуги МАГАТЭ в области безопасности охватывают вопросы проектирования, выбора площадки и инженерно-технической безопасности, эксплуатационной безопасности, радиационной безопасности, безопасной перевозки радиоактивных материалов и безопасного обращения с радиоактивными отходами, а также вопросы государственной основы, регулирования и культуры безопасности в организациях. Эти услуги в области безопасности содействуют государствам-членам в применении норм и позволяют обмениваться ценным опытом и данными.

Ответственность за деятельность по регулированию безопасности возлагается на страны, и многие государства принимают решения применять нормы МАГАТЭ по безопасности в своих национальных регулирующих положениях. Для сторон различных международных конвенций по безопасности нормы МАГАТЭ являются согласованным и надежным средством обеспечения эффективного выполнения обязательств, вытекающих из этих конвенций. Эти нормы применяются

также регулируемыми органами и операторами во всем мире в целях повышения безопасности при производстве ядерной энергии и применении ядерных методов в медицине, промышленности, сельском хозяйстве и научных исследованиях.

Безопасность — это не самоцель, а необходимое условие защиты людей во всех государствах и охраны окружающей среды в настоящее время и в будущем. Риски, связанные с ионизирующими излучениями, должны оцениваться и контролироваться без неоправданного ограничения вклада ядерной энергии в справедливое и устойчивое развитие. Правительства, регулирующие органы и операторы во всем мире должны обеспечивать, чтобы ядерный материал и источники излучения использовались для всеобщего блага, в условиях безопасности и с учетом мнения общественности. Для содействия этому предназначены нормы МАГАТЭ по безопасности, которые я призываю применять все государства-члены.

# НОРМЫ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Радиоактивность — это естественное явление, и в окружающей среде присутствуют природные (естественные) источники излучения. Ионизирующие излучения и радиоактивные вещества с пользой применяются во многих сферах — от производства энергии до использования в медицине, промышленности и сельском хозяйстве. Радиационные риски, которым в результате этих применений могут подвергаться работники, население и окружающая среда, подлежат оценке и должны в случае необходимости контролироваться.

Поэтому такая деятельность, как медицинское использование радиации, эксплуатация ядерных установок, производство, перевозка и использование радиоактивных материалов и обращение с радиоактивными отходами, должна осуществляться в соответствии с нормами безопасности.

Регулированием вопросов безопасности занимаются государства. Однако радиационные риски могут выходить за пределы национальных границ, и в рамках международного сотрудничества принимаются меры по обеспечению и укреплению безопасности в глобальном масштабе посредством обмена опытом и расширения возможностей для контроля опасностей, предотвращения аварий, реагирования в случае аварийных ситуаций и смягчения любых вредных последствий.

Государства обязаны проявлять должную осмотрительность и соответствующую осторожность, и предполагается, что они будут выполнять свои национальные и международные обязательства.

Международные нормы безопасности содействуют выполнению государствами своих обязательств согласно общим принципам международного права, например, касающимся охраны окружающей среды. Кроме того, международные нормы безопасности укрепляют и обеспечивают уверенность в безопасности и способствуют международной торговле.

Глобальный режим ядерной безопасности постоянно совершенствуется. Нормы безопасности МАГАТЭ, которые поддерживают осуществление имеющих обязательную силу международных договорно-правовых документов и функционирование национальных инфраструктур безопасности, являются краеугольным камнем этого глобального режима. Нормы безопасности МАГАТЭ — это полезный инструмент, с помощью которого договаривающиеся стороны оценивают свою деятельность по выполнению этих конвенций.

## НОРМЫ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ

Статус норм безопасности МАГАТЭ вытекает из Устава МАГАТЭ, которым Агентство уполномочивается устанавливать и применять, в консультации и, в надлежащих случаях, в сотрудничестве с компетентными органами Организации Объединенных Наций и с заинтересованными специализированными учреждениями, нормы безопасности для охраны здоровья и сведения к минимуму опасности для жизни и имущества и обеспечивать применение этих норм.

В целях обеспечения защиты людей и охраны окружающей среды от вредного воздействия ионизирующего излучения нормы безопасности МАГАТЭ устанавливают основополагающие принципы безопасности, требования и меры для обеспечения контроля за радиационным облучением людей и выбросом радиоактивного материала в окружающую среду, ограничения вероятности событий, которые могут привести к утрате контроля за активной зоной ядерного реактора, ядерной цепной реакцией, радиоактивным источником или любым другим источником излучения, и смягчения последствий таких событий в случае, если они будут иметь место. Нормы касаются установок и деятельности, связанных с радиационными рисками, включая ядерные установки, использование радиационных и радиоактивных источников, перевозку радиоактивных материалов и обращение с радиоактивными отходами.

Меры по обеспечению безопасности и физической безопасности<sup>1</sup> преследуют общую цель защиты жизни и здоровья людей и охраны окружающей среды. Меры по обеспечению безопасности и физической безопасности должны разрабатываться и осуществляться комплексно, таким образом, чтобы меры по обеспечению физической безопасности не осуществлялись в ущерб безопасности, и наоборот, чтобы меры по обеспечению безопасности не осуществлялись в ущерб физической безопасности.

Нормы безопасности МАГАТЭ отражают международный консенсус в отношении того, что является основой высокого уровня безопасности для защиты людей и охраны окружающей среды от вредного воздействия ионизирующего излучения. Они выпускаются в Серии норм безопасности МАГАТЭ, которая состоит из документов трех категорий (см. рис. 1).

---

<sup>1</sup> См. также публикации в Серии изданий МАГАТЭ по физической ядерной безопасности.



РИС. 1. Долгосрочная структура Серии норм безопасности МАГАТЭ.

## Основы безопасности

Основы безопасности содержат основополагающие цели и принципы защиты и безопасности и служат основой для требований безопасности.

## Требования безопасности

Комплексный и согласованный набор требований безопасности устанавливает требования, которые должны выполняться с целью обеспечения защиты людей и охраны окружающей среды в настоящее время и в будущем. Требования регулируются целями и принципами основ безопасности. Если требования не выполняются, то должны приниматься меры для достижения или восстановления требуемого уровня безопасности. Формат и стиль требований облегчают их гармоничное использование для создания национальной основы регулирования. Требования, включая пронумерованные всеобъемлющие требования, выражаются формулировками «должен, должна, должно, должны». Многие требования конкретной стороне не адресуются, а это означает, что за их выполнение отвечают соответствующие стороны.

## **Руководства по безопасности**

В руководствах по безопасности содержатся рекомендации и руководящие материалы, касающиеся выполнения требований безопасности, и в них выражается международный консенсус в отношении необходимости принятия рекомендуемых мер (или эквивалентных альтернативных мер). В руководствах по безопасности сообщается о международной положительной практике, и они во все большей степени отражают образцовую практику с целью помочь пользователям достичь высокого уровня безопасности. Рекомендации, содержащиеся в руководствах по безопасности, формулируются с применением глагола «следует».

## **ПРИМЕНЕНИЕ НОРМ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ**

Основные пользователи норм безопасности в государствах — членах МАГАТЭ — это регулирующие и другие соответствующие государственные органы. Кроме того, нормы безопасности МАГАТЭ используются другими организациями-спонсорами и многочисленными организациями, которые занимаются проектированием, сооружением и эксплуатацией ядерных установок, а также организациями, участвующими в использовании радиационных и радиоактивных источников.

Нормы безопасности МАГАТЭ применяются в соответствующих случаях на протяжении всего жизненного цикла всех имеющихся и новых установок, используемых в мирных целях, и на протяжении всей нынешней и новой деятельности в мирных целях, а также в отношении защитных мер для уменьшения существующих радиационных рисков. Они могут использоваться государствами в качестве базы для их национальных регулирующих положений в отношении установок и деятельности.

Согласно Уставу МАГАТЭ нормы безопасности являются обязательными для МАГАТЭ применительно к его собственной работе, а также для государств применительно к работе, выполняемой с помощью МАГАТЭ.

Кроме того, нормы безопасности МАГАТЭ закладывают основу для услуг МАГАТЭ по рассмотрению безопасности, и они используются МАГАТЭ в содействии повышению компетентности, в том числе, для разработки учебных планов и организации учебных курсов.

Международные конвенции содержат требования, аналогичные требованиям, которые изложены в нормах безопасности МАГАТЭ, и делают их обязательными для договаривающихся сторон. Нормы безопасности МАГАТЭ, подкрепляемые международными конвенциями, отраслевыми стандартами и подробными национальными требованиями,

создают прочную основу для защиты людей и охраны окружающей среды. Существуют также некоторые особые вопросы безопасности, требующие оценки на национальном уровне. Например, многие нормы безопасности МАГАТЭ, особенно те из них, которые посвящены вопросам планирования или разработки мер по обеспечению безопасности, предназначаются, прежде всего, для применения к новым установкам и видам деятельности. На некоторых существующих установках, сооруженных в соответствии с нормами, принятыми ранее, требования, установленные в нормах безопасности МАГАТЭ, в полном объеме соблюдаться не могут. Вопрос о том, как нормы безопасности МАГАТЭ должны применяться на таких установках, решают сами государства.

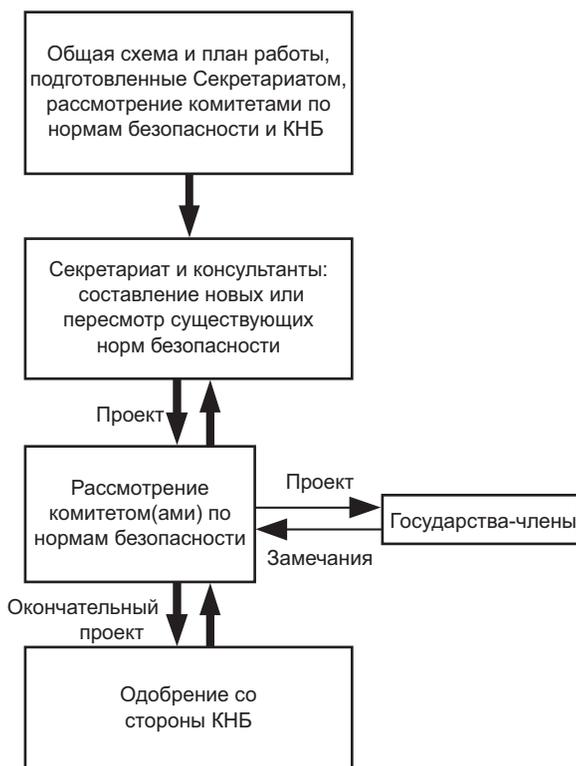
Научные соображения, лежащие в основе норм безопасности МАГАТЭ, обеспечивают объективную основу для принятия решений по вопросам безопасности; однако лица, отвечающие за принятие решений, должны также выносить обоснованные суждения и должны определять, как лучше всего сбалансировать выгоды принимаемых мер или осуществляемой деятельности с учетом соответствующих радиационных рисков и любых иных вредных последствий этих мер или деятельности.

## ПРОЦЕСС РАЗРАБОТКИ НОРМ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ

Подготовкой и рассмотрением норм безопасности занимаются Секретариат МАГАТЭ и пять комитетов по нормам безопасности, охватывающих аварийную готовность и реагирование (ЭПРеСК) (с 2016 года), ядерную безопасность (НУССК), радиационную безопасность (РАССК), безопасность радиоактивных отходов (ВАССК) и безопасную перевозку радиоактивных материалов (ТРАНССК), а также Комиссия по нормам безопасности (КНБ), которая осуществляет надзор за программой по нормам безопасности МАГАТЭ (см. рис. 2).

Все государства — члены МАГАТЭ могут назначать экспертов в комитеты по нормам безопасности и представлять замечания по проектам норм. Члены Комиссии по нормам безопасности назначаются Генеральным директором, и в ее состав входят старшие правительственные должностные лица, несущие ответственность за установление национальных норм.

Для осуществления процессов планирования, разработки, рассмотрения, пересмотра и установления норм безопасности МАГАТЭ создана система управления. Особое место в ней занимают мандат МАГАТЭ, видение будущего применения норм, политики и стратегий безопасности и соответствующие функции и обязанности.



*Рис. 2. Процесс разработки новых норм безопасности или пересмотр существующих норм.*

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ДРУГИМИ МЕЖДУНАРОДНЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ

При разработке норм безопасности МАГАТЭ принимаются во внимание выводы Научного комитета ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН) и рекомендации международных экспертных органов, в частности, Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ). Некоторые нормы безопасности разрабатываются в сотрудничестве с другими органами системы Организации Объединенных Наций или другими специализированными учреждениями, включая Продовольственную и сельскохозяйственную организацию Объединенных Наций, Программу Организации Объединенных Наций по окружающей среде, Международную организацию труда, Агентство по ядерной энергии ОЭСР, Панамериканскую организацию здравоохранения и Всемирную организацию здравоохранения.

## ТОЛКОВАНИЕ ТЕКСТА

Относящиеся к безопасности термины должны толковаться в соответствии с определениями, данными в Глоссарии МАГАТЭ по вопросам безопасности (см. <http://www-ns.iaea.org/standards/safety-glossary.htm>). Для руководств по безопасности аутентичным текстом является английский вариант.

Общие сведения и соответствующий контекст норм в Серии норм безопасности МАГАТЭ, а также их цель, сфера применения и структура приводятся в разделе 1 «Введение» каждой публикации.

Материал, который нецелесообразно включать в основной текст (например, материал, который является вспомогательным или отдельным от основного текста, дополняет формулировки основного текста или описывает методы расчетов, процедуры или пределы и условия), может быть представлен в дополнениях или приложениях.

Дополнение, если оно включено, рассматривается в качестве неотъемлемой части норм безопасности. Материал в дополнении имеет тот же статус, что и основной текст, и МАГАТЭ берет на себя авторство в отношении такого материала. Приложения и сноски к основному тексту, если они включены, используются для предоставления практических примеров или дополнительной информации или пояснений. Приложения и сноски неотъемлемой частью основного текста не являются. Материал в приложениях, опубликованный МАГАТЭ, не обязательно выпускается в качестве его авторского материала; в приложениях к нормам безопасности может быть представлен материал, имеющий другое авторство. Содержащийся в приложениях посторонний материал, с тем чтобы в целом быть полезным, по мере необходимости публикуется в виде выдержек и адаптируется.



## СОДЕРЖАНИЕ

1.	ВВЕДЕНИЕ .....	1
	Общие сведения (1.1, 1.2) .....	1
	Цель (1.3–1.5) .....	1
	Область применения (1.6–1.11).....	2
	Структура (1.12) .....	3
2.	СИСТЕМА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ РЕАКТОРА И СВЯЗАННЫЕ С НЕЙ СИСТЕМЫ (2.1) .....	3
	Система теплоносителя реактора (2.2–2.4) .....	4
	Системы теплоотвода в режиме останова (2.5) .....	5
	Системы контроля запаса теплоносителя в эксплуатационных состояниях (2.6) .....	5
	Системы контроля реактивности активной зоны в эксплуатационных состояниях (2.7) .....	5
	Системы охлаждения активной зоны и отвода остаточного тепловыделения в аварийных условиях (2.8) .....	5
	Системы управления реактивностью активной зоны в аварийных условиях (2.9) .....	6
	Конечный поглотитель тепла и системы передачи остаточного тепла во всех состояниях станции (2.10–2.12) .....	6
3.	ПРОЕКТНЫЕ ОСНОВЫ СИСТЕМЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ РЕАКТОРА И СВЯЗАННЫХ С НЕЙ СИСТЕМ (3.1) .....	7
	Общие сведения (3.2–3.7) .....	7
	Функции безопасности (3.8) .....	9
	Постулируемые исходные события (3.9–3.12) .....	9
	Внутренние опасности (3.13–3.17) .....	10
	Внешние опасности (3.18–3.26) .....	11
	Аварийные условия (3.27–3.42).....	13
	Пределы проектирования и критерии приемлемости (приемочные критерии) (3.43–3.45).....	16
	Надежность (3.46–3.56) .....	17
	Глубокоэшелонированная защита (3.57–3.61) .....	20
	Классификация по безопасности (3.62–3.66).....	20

Квалификация по условиям окружающей среды узлов, важных для безопасности (3.67–3.75) . . . . .	22
Нагрузки и сочетания нагрузок (3.76–3.86) . . . . .	24
Материалы (3.87–3.96) . . . . .	26
Изготовление и монтаж (3.97, 3.98) . . . . .	28
Калибровка, испытания, техническое обслуживание, ремонт, замена, инспекционный контроль и мониторинг (3.99–3.115) . .	29
Защита от превышения давления (3.116–3.120). . . . .	33
Компоновка (3.121) . . . . .	34
Радиационная защита (3.122–3.125) . . . . .	34
Образование скопления горючих газов в режиме нормальной эксплуатации (3.126) . . . . .	35
Вентилирование (газоудаление) и дренаж (3.127, 3.128) . . . . .	35
Интерфейсы между системой теплоносителя реактора и связанными с ней системами (3.129, 3.130) . . . . .	35
Изоляция защитной оболочки (контейнента) (3.131, 3.132) . . . .	36
Контрольно-измерительная аппаратура (3.133–3.136) . . . . .	37
Многоблочные атомные электростанции (3.137) . . . . .	38
Нормы, правила и стандарты (3.138–3.140) . . . . .	38
Использование вероятностного анализа при проектировании (3.141–3.143) . . . . .	39
<b>4. КОНЕЧНЫЙ ПОГЛОТИТЕЛЬ ТЕПЛА И СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ОСТАТОЧНОГО ТЕПЛА (4.1) . . . . .</b>	<b>40</b>
Конечный поглотитель тепла (4.2–4.19) . . . . .	40
Системы передачи остаточного тепла (4.20–4.46) . . . . .	44
<b>5. ОСОБЫЕ ВОПРОСЫ, УЧИТЫВАЕМЫЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ РЕАКТОРА (5.1, 5.2) . . . . .</b>	<b>49</b>
Проектирование конструкций (5.3–5.10) . . . . .	50
Проектные нагрузки и сочетания нагрузок (5.11–5.16) . . . . .	52
Контроль условий охлаждения в эксплуатационных состояниях (5.17–5.19) . . . . .	54
Регулирование давления и защита от превышения давления (5.20–5.43) . . . . .	54
Изоляция границы (барьера) давления контура теплоносителя реактора (5.44–5.53) . . . . .	59
Постулируемые исходные события (5.54) . . . . .	61

Внутренние опасности (5.55, 5.56) . . . . .	61
Внешние опасности (5.57–5.60) . . . . .	62
Компоновка (5.61–5.63) . . . . .	62
Проектные пределы (5.64) . . . . .	63
Классификация по безопасности (5.65, 5.66) . . . . .	64
Квалификация по условиям окружающей среды (5.67, 5.68) . . . . .	64
Испытания давлением (5.69, 5.70) . . . . .	65
Вентиляция (газоудаление) (5.71–5.79) . . . . .	65
Особые вопросы, учитываемые при проектировании (5.80–5.130) . . . . .	67
6. ОСОБЫЕ ВОПРОСЫ, УЧИТЫВАЕМЫЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СВЯЗАННЫХ С КОНТУРОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ СИСТЕМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ РЕАКТОРОВ PWR . . . . .	76
Системы контроля запаса теплоносителя и реактивности активной зоны в эксплуатационных состояниях (6.1–6.9) . . . . .	76
Системы теплоотвода в эксплуатационных состояниях (6.10–6.40) . . . . .	78
Системы охлаждения активной зоны и отвода остаточного тепловыделения в аварийных условиях (за исключением запроектных условий с расплавлением активной зоны) (6.41–6.99) . . . . .	83
Системы управления реактивностью активной зоны в аварийных условиях (6.100–6.106) . . . . .	93
7. ОСОБЫЕ ВОПРОСЫ, УЧИТЫВАЕМЫЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СВЯЗАННЫХ С КОНТУРОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ СИСТЕМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ РЕАКТОРОВ BWR . . . . .	95
Системы контроля запаса теплоносителя и реактивности активной зоны в эксплуатационных состояниях (7.1–7.4) . . . . .	95
Системы теплоотвода в эксплуатационных состояниях (7.5–7.16)	96
Системы охлаждения активной зоны и отвода остаточного тепловыделения в аварийных условиях (7.17–7.26) . . . . .	98
Системы управления реактивностью активной зоны в аварийных условиях (7.27–7.31) . . . . .	101

8. ОСОБЫЕ ВОПРОСЫ, УЧИТЫВАЕМЫЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СВЯЗАННЫХ С КОНТУРОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ СИСТЕМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ РЕАКТОРОВ PHWR (8.1). . . . .	101
Системы контроля реактивности активной зоны в эксплуатационных состояниях (8.2–8.4) . . . . .	102
Системы теплоотвода в эксплуатационных состояниях (8.5–8.40)	103
Системы управления реактивностью активной зоны в аварийных условиях (8.41–8.49) . . . . .	108
Системы охлаждения активной зоны и отвода остаточного тепловыделения в аварийных условиях (8.50–8.117). . . . .	110
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ . . . . .	121
СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ . . . . .	125

# 1. ВВЕДЕНИЕ

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. В настоящем Руководстве по безопасности, предназначенном для применения при проектировании системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем атомных электростанций, приводятся рекомендации по выполнению требований, изложенных в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSR-2/1 (Rev. 1), «Безопасность атомных электростанций: проектирование» [1], которые применяются к системам охлаждения атомных электростанций.

1.2. Настоящее Руководство по безопасности является пересмотренным изданием публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-1.9, «Проектирование системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем атомных электростанций»<sup>1</sup> и заменяет эту публикацию.

## ЦЕЛЬ

1.3. Целью настоящего Руководства по безопасности является опубликование рекомендаций по проектированию системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем, описанных в разделе 2, с соблюдением требований, предъявляемых к этим системам, которые изложены в SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

1.4. Рекомендации, изложенные в настоящем Руководстве по безопасности, предназначены для регулирующих органов, проектировщиков и лицензиатов атомных электростанций.

1.5. Термины, используемые в настоящем Руководстве по безопасности, следует трактовать согласно определениям и пояснениям, приведенным в Глоссарии МАГАТЭ по вопросам безопасности [2].

---

<sup>1</sup> МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, «Проектирование системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем атомных электростанций», Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-1.9, МАГАТЭ, Вена (2008).

## ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

1.6. Настоящее Руководство по безопасности предназначено для применения в первую очередь к наземным стационарным атомным станциям с водоохлаждаемыми реакторами, используемым для выработки электроэнергии. Необходимо отметить, что в случае реакторов иных типов, включая инновационные разработки перспективных систем, некоторые разделы настоящего Руководства по безопасности могут оказаться непригодными для применения или же при их использовании могут потребоваться разъясняющие заключения экспертов.

1.7. Рекомендации, содержащиеся в настоящем Руководстве по безопасности прежде всего ориентированы на новые атомные электростанции. В отношении атомных электростанций, построенных в соответствии с ранее действовавшими стандартами, требуется, чтобы при выполнении оценок безопасности их конструкций проводился анализ со сравнением с современными стандартами безопасности (например в рамках периодической переоценки безопасности станции) для определения возможности дальнейшего повышения безопасности эксплуатации станции на основе внедрения практически реализуемых решений по повышению безопасности (см. пункт 1.3 в SSR-2/1 (Rev. 1) [1]).

1.8. Предметом настоящего Руководства по безопасности являются система теплоносителя реактора и связанные с ней системы, включая конечный поглотитель тепла, как указано в разделе 4. Оно охватывает вопросы проектирования системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем, которые являются общими для типов реакторов, указанных в пункте 1.6. Сфера применения настоящего Руководства по безопасности не распространяется на детальное проектирование конкретных конструктивных элементов.

1.9. В разделе 2 приводится описание системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем, являющихся предметом настоящего Руководства по безопасности. Рекомендации по проектированию приводятся без привязки к конкретным особенностям отдельных проектов, насколько это практически возможно, исходя из функций обеспечения безопасности, которые должны выполняться системами.

1.10. Проектные пределы и технические критерии, наряду с параметрами системы, которые следует использовать для проверки таких пределов и критериев, являются конкретно предназначенными для индивидуальных

проектов атомных электростанций и, следовательно, не рассматриваются в настоящем Руководстве по безопасности. Вместе с тем для этих характеристик предлагаются рекомендации качественного характера.

1.11. Тепловыделяющие элементы и регулирующие стержни для управления реактивностью активной зоны и останова реактора не являются предметом настоящего Руководства по безопасности.

## СТРУКТУРА

1.12. В разделе 2 дано описание системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем, являющихся предметом настоящего Руководства по безопасности. В разделе 3 изложены общие рекомендации по проектированию системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем, относящиеся к технологиям реакторов с водой под давлением (реакторы PWR), кипящих реакторов (реакторы BWR) и реакторов с тяжелой водой под давлением (реакторы PHWR). В разделе 4 приведены рекомендации по проектированию различных контуров теплопередачи и рассматриваются общие вопросы, касающиеся конечного поглотителя тепла. В разделе 5 приведены дополнительные рекомендации по проектированию, относящиеся к системам теплоносителя реакторов, применяемым в технологиях реакторов PWR, BWR и PHWR. В разделах 6–8 изложены дополнительные рекомендации по проектированию систем, относящиеся конкретно к связанным с контуром теплоносителя системам, применяемым соответственно в технологиях реакторов PWR, BWR и PHWR.

## **2. СИСТЕМА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ РЕАКТОРА И СВЯЗАННЫЕ С НЕЙ СИСТЕМЫ**

2.1. Рекомендации, содержащиеся в настоящем Руководстве по безопасности, относятся к системе теплоносителя реактора и связанным с ней системам, выполняющим функции:

- а) обеспечения локализации радиоактивных материалов для защиты персонала, населения и окружающей среды;

- b) обеспечения и поддержания надлежащих условий охлаждения активной зоны в целях соблюдения проектных пределов для топлива в эксплуатационных состояниях;
- c) поддержания достаточного запаса теплоносителя и условий охлаждения для предотвращения значительного повреждения топлива в случае проектных аварий и для смягчения, насколько это практически возможно, последствий наступления запроектных условий;
- d) отвода остаточного тепловыделения в активной зоне и передачи остаточного тепла от системы теплоносителя реактора к конечному поглотителю в эксплуатационных состояниях и в аварийных условиях;
- e) предотвращения неконтролируемой потери запаса теплоносителя в пределах границы (барьера) давления контура теплоносителя реактора;
- f) ограничения избыточного давления в системе теплоносителя реактора в эксплуатационных состояниях, в случае проектных аварий и в запроектных условиях без значительной деградации топлива;
- g) останова реактора и контроля реактивности активной зоны для обеспечения соблюдения проектных пределов для топлива в эксплуатационных состояниях и в аварийных условиях;
- h) снижения давления в системе теплоносителя реактора в аварийных условиях.

## СИСТЕМА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ РЕАКТОРА

2.2. В состав системы теплоносителя всех типов реакторных установок входят конструкционные элементы, необходимые для обеспечения и поддержания надлежащих условий охлаждения активной зоны (давления, температуры и расхода теплоносителя) с содержащимся в нем топливом при работе на мощности. Как указано в пункте 1.11, тепловыделяющие элементы и регулирующие стержни для управления реактивностью активной зоны и останова реактора не являются предметом настоящего Руководства по безопасности.

2.3. В конструкции водоохлаждаемых реакторов всех типов граница давления системы теплоносителя реактора распространяется до самой удаленной изолирующей (отсечной) арматуры включительно.

2.4. В случае реакторов с непрямым циклом (PWR) граница (барьер) давления системы теплоносителя реактора включает в себя первый контур парогенераторов (см. раздел 6). В реакторах с прямым циклом (BWR) граница (барьер) давления системы теплоносителя реактора также

включает систему рециркуляции теплоносителя первого контура реактора, паропроводы и трубопроводы питательной воды до наиболее удаленного изолирующего (отсечного) клапана защитной оболочки реактора (см. раздел 7) включительно. Особые вопросы, касающиеся реакторов PHWR, изложены в разделе 8.

## СИСТЕМЫ ТЕПЛОТВОДА В РЕЖИМЕ ОСТАНОВА

2.5. Эти системы предназначены для отвода остаточного тепла от системы теплоносителя реактора во время останова. К ним относятся системы, предназначенные для охлаждения системы теплоносителя реактора до условий холодного останова, включая условия, необходимые для проведения операций по перегрузке топлива в случае реакторов PWR и BWR.

## СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗАПАСА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СОСТОЯНИЯХ

2.6. Данные системы предназначены для контроля запаса теплоносителя реактора и компенсации течей в эксплуатационных состояниях.

## СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ РЕАКТИВНОСТИ АКТИВНОЙ ЗОНЫ В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СОСТОЯНИЯХ

2.7. Эти системы предназначены для регулирования медленных изменений реактивности (включая управление распределением энерговыделения в активной зоне) при работе на мощности и для поддержания подкритичности в условиях останова.

## СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ АКТИВНОЙ ЗОНЫ И ОТВОДА ОСТАТОЧНОГО ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ В АВАРИЙНЫХ УСЛОВИЯХ

2.8. К ним относятся:

- а) системы, предназначенные для отвода остаточного тепловыделения из активной зоны в аварийных условиях как при нарушении целостности системы теплоносителя, так и при ее сохранении;

- b) системы, предназначенные для охлаждения системы теплоносителя реактора в аварийных условиях до достижения условий безопасного останова и для передачи остаточного тепла от системы теплоносителя реактора к конечному поглотителю тепла;
- c) системы, предназначенные для длительного поддержания условий безопасного останова.

## СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕАКТИВНОСТЬЮ АКТИВНОЙ ЗОНЫ В АВАРИЙНЫХ УСЛОВИЯХ

2.9. Такие системы предназначены для:

- a) заглушения реактора;
- b) прекращения неконтролируемого или избыточного ввода положительной реактивности, вызванного аварийными условиями;
- c) минимизации повреждения топлива в случае ожидаемого переходного процесса без аварийного останова;
- d) обеспечения управления реактивностью активной зоны до достижения условий безопасного останова в аварийных условиях.

## КОНЕЧНЫЙ ПОГЛОТИТЕЛЬ ТЕПЛА И СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ОСТАТОЧНОГО ТЕПЛА ВО ВСЕХ СОСТОЯНИЯХ СТАНЦИИ

2.10. Конечный поглотитель тепла — это среда, в которую всегда может быть передано остаточное тепло, даже если все другие средства отвода тепла были утрачены или являются недостаточными [2]. Конечным поглотителем тепла обычно является водоем (включая подземные воды) или атмосфера.

2.11. К системам передачи остаточного тепла относятся системы, которые передают тепло от систем отвода остаточного тепла к конечному поглотителю тепла.

2.12. Работа систем передачи остаточного тепла к конечному поглотителю основана на обеспечении постоянной функциональной доступности по меньшей мере одного поглотителя тепла и одного контура теплопередачи в различных условиях останова.

### **3. ПРОЕКТНЫЕ ОСНОВЫ СИСТЕМЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ РЕАКТОРА И СВЯЗАННЫХ С НЕЙ СИСТЕМ**

3.1. В данном разделе изложены общие рекомендации по проектированию системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем, относящиеся ко всем водоохлаждаемым реакторам. Особые вопросы, учитываемые при проектировании с использованием конкретных реакторных технологий, описаны в разделе 6 применительно к реакторам PWR, разделе 7 применительно к реакторам BWR и разделе 8 — к реакторам PHWR.

#### **ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**

3.2. Конструкция ряда систем теплоносителя реактора и связанных с ними систем имеет характерные особенности, и к этим системам могут применяться разные принципы проектирования (например, использование активных или пассивных систем для аварийного охлаждения активной зоны или для отвода остаточного тепловыделения). Вместе с тем системы, выполняющие аналогичную функцию безопасности в случае различных технологий, следует проектировать с применением одинаковых общих проектных требований.

3.3. Проектирование системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем необходимо выполнять в соответствии с требованиями 1–3, изложенными в SSR-2/1 (Rev. 1) [1], применительно к управлению безопасностью при проектировании. Кроме того, следует обеспечивать, чтобы процесс проектирования соответствовал требованиям, изложенным в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 2, «Лидерство и менеджмент для обеспечения безопасности» [3]. При этом также следует учитывать рекомендации, изложенные в публикациях Серии норм безопасности МАГАТЭ № GS-G-3.1, «Применение системы управления для установок и деятельности» [4], и № GS-G-3.5, «Система управления для ядерных установок» [5].

3.4. Проектирование системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем следует выполнять с учетом требований и рекомендаций как по безопасности, так и по физической ядерной безопасности. Меры по обеспечению безопасности и меры по обеспечению физической ядерной

безопасности следует разрабатывать и применять комплексно и, насколько это возможно, взаимодополняющим образом, чтобы меры по обеспечению физической ядерной безопасности не осуществлялись в ущерб безопасности, а меры по обеспечению безопасности не ставили под угрозу физическую ядерную безопасность. Рекомендации по физической ядерной безопасности изложены в [6].

3.5. Систему теплоносителя реактора и связанные с ней системы следует проектировать в соответствии с требованиями 47–53, изложенными в SSR-2/1 (Rev. 1) [1], а также с учетом других требований, изложенных в SSR-2/1 (Rev. 1) [1], с целью:

- a) защиты работников, населения и окружающей среды от вредного воздействия ионизирующего излучения во всех состояниях станции;
- b) обеспечения надлежащей надежности различных систем;
- c) практического исключения возможности возникновения условий, которые могут привести к раннему или крупному радиоактивному выбросу.

3.6. Для достижения вышеуказанных целей систему теплоносителя реактора и связанные с ней системы следует проектировать с учетом необходимости выполнения ими функций, перечисленных в пункте 2.1 настоящего Руководства по безопасности.

3.7. Для каждой конструкции, системы и элемента следует устанавливать проектные основы, определяющие:

- a) функцию (функции), выполняемую(ые) конструкцией, системой или элементом;
- b) постулируемые исходные события, при которых конструкция, система или элемент должны сохранять свою работоспособность;
- c) нагрузки и сочетания нагрузок, которые конструкция или элемент должны выдерживать;
- d) защиту от опасных внутренних воздействий;
- e) защиту от опасных внешних воздействий;
- f) проектные пределы и критерии приемлемости (приемочные критерии), применяемые при проектировании конструкций, систем и элементов;
- g) надежность;
- h) проектные решения, предусматриваемые для предотвращения отказов по общей причине внутри системы и между системами, относящимися к разным уровням глубокоэшелонированной защиты;

- i) классификацию по безопасности;
- j) условия окружающей среды для аттестационной квалификации;
- к) функциональные возможности мониторинга и контроля;
- л) требования к материалам;
- м) проектные решения, предусматриваемые для проведения испытаний, инспекционного контроля, технического обслуживания и ремонта, а также работ по выводу из эксплуатации.

## ФУНКЦИИ БЕЗОПАСНОСТИ

3.8. Функции безопасности, выполняемые каждой системой, а также участие каждого крупного элемента конструкции в реализации этих функций, следует описывать с уровнем детализации, достаточным для правильной классификации по безопасности.

## ПОСТУЛИРУЕМЫЕ ИСХОДНЫЕ СОБЫТИЯ

3.9. В пунктах 3.10–3.12 приведены рекомендации по выполнению требования 16, изложенного в SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

3.10. Используя перечень постулируемых исходных событий, составленный для данного проекта станции, следует выбрать и определить категорию, с учетом оцененной частоты возникновения, событий, могущих повлиять на конструкцию системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем (по вопросу категоризации постулируемых исходных событий см. [7]).

3.11. Для каждого из условий, которые могут возникнуть в результате постулируемых исходных событий, следует определить перечень элементов системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем, которые необходимы для приведения станции в состояние безопасного и устойчивого останова.

3.12. Следует определить ограничивающие условия, которые могут возникнуть в результате постулируемых исходных событий, с целью установления функциональных возможностей и характеристик системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем, а также связанного с ними оборудования.

## ВНУТРЕННИЕ ОПАСНОСТИ

3.13. В пунктах 3.14–3.17 приведены рекомендации по выполнению требования 17 и пункта 5.16, изложенных в SSR-2/1 (Rev. 1) [1], в отношении внутренних опасностей. При составлении перечня внутренних опасностей, которые следует учитывать при проектировании системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем, следует соблюдать рекомендации, изложенные в публикациях Серии норм безопасности МАГАТЭ № NS-G-1.7, «Защита от внутренних пожаров и взрывов при проектировании атомных электростанций» [8], и № NS-G-1.11, «Protection Against Internal Hazards other than Fires and Explosions in the Design of Nuclear Power Plants» («Защита от внутренних опасностей, исключая пожары и взрывы, при проектировании атомных электростанций») [9].

3.14. Процесс скрининговой оценки, используемый для составления перечня внутренних опасностей, следует документировать в соответствии с применяемой системой менеджмента. Конструкции, системы и элементы, важные для безопасности (например, для безопасного останова реактора или для смягчения последствий аварии), следует защищать от воздействия внутренних опасностей. При осуществлении такой защиты следует также учитывать последствия выхода из строя незащищенных конструкций, систем и элементов для защищаемых конструкций, систем и элементов.

3.15. Следует предусматривать, чтобы компоновка станции и средства защиты от внутренних опасностей обеспечивали надлежащее, предусмотренное в анализе постулируемых исходных событий реагирование системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем даже при воздействии таких опасностей.

3.16. Следует обеспечивать, чтобы компоновка станции и средства защиты проектных решений по резервированию систем безопасности исключали возможность развития ситуации, при которой внутренняя опасность может вызвать отказ по общей причине с полной потерей функции безопасности, которую должна выполнять система теплоносителя реактора и связанные с ней системы.

3.17. Следует предусматривать, чтобы методы проектирования, а также применяемые нормы, правила и стандарты по проектированию и строительству обеспечивали достаточные запасы безопасности, исключая возникновение пороговых эффектов при увеличении тяжести внутренних опасностей.

## ВНЕШНИЕ ОПАСНОСТИ

3.18. В пунктах 3.19–3.26 приведены рекомендации по выполнению требования 17 и пунктов 5.17–5.21А, изложенных в SSR-2/1 (Rev. 1) [1], в отношении внешних опасностей. Кроме того, для понимания общих концепций, выявления соответствующих внешних опасностей и обеспечения защиты системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем от воздействия этих опасностей следует учитывать рекомендации, изложенные в публикациях Серии норм безопасности МАГАТЭ: № NS-G-1.5, «Учет внешних событий, исключая землетрясения, при проектировании атомных электростанций» [10], в отношении опасностей, не относящихся к числу сейсмических, и № NS-G-2.13, «Оценка сейсмической безопасности существующих ядерных установок» [11], а также № NS-G-1.6, «Проектирование и аттестация сейсмостойких конструкций для атомных электростанций» [12], в отношении сейсмических опасностей.

3.19. Следует предусматривать применение, насколько это возможно, средств защиты для предотвращения повреждения системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем, важных для безопасности (например, систем останова реактора и смягчения последствий аварии), в результате воздействия внешних опасностей. Защита может обеспечиваться соответствующей компоновкой станции и защитными мерами, предусматриваемыми в отношении зданий и сооружений, расположенных на площадке. Если эффективные меры защиты не могут быть применены, при проектировании конструкций, систем и элементов следует обеспечивать их отказоустойчивость при воздействии опасных нагрузок, а также нагрузок, связанных с вероятным сочетанием опасностей.

3.20. Следует обеспечивать, чтобы конструкция элементов системы теплоносителя реактора исключала возможность инициирования аварии при воздействии внешних опасностей, определенных при оценке площадки.

3.21. Для каждой определенной внешней опасности или вероятного сочетания опасностей следует определять и указывать в проектных основах элементы, обеспечение работоспособности или целостности которых необходимо во время или после события, обусловленного воздействием этих опасностей.

3.22. Для конструкций, систем и элементов системы теплоносителя реактора и связанных с ними систем следует установить соответствующие категории сейсмостойкости в соответствии с рекомендациями, изложенными в

NS-G-1.6 [12]. Элементы, образующие границу (барьер) давления контура теплоносителя реактора, второй контур парогенераторов (реакторы PWR и PHWR), а также системы безопасности, предназначенные для смягчения последствий проектных аварий, следует проектировать с учетом необходимости обеспечить их отказоустойчивость при сейсмических нагрузках уровня 2 (SL-2) в соответствии с рекомендациями, изложенными в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-9, «Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations» («Сейсмические опасности при оценке площадок для ядерных установок») [13].

3.23. Следует применять методы проектирования, нормы, правила и стандарты по проектированию и строительству, которые обеспечивают достаточные запасы безопасности, исключающие возникновение пороговых эффектов при увеличении тяжести внешних опасностей.

3.24. При проектировании следует определять системы теплоносителя реактора и связанные с ней системы, а также конструкции и элементы, которые необходимы в конечном счете для предотвращения раннего или крупного радиоактивных выбросов (если такая возможность существует). Следует обеспечить сохранение целостности и работоспособности всех таких узлов (в соответствующих случаях) при возникновении природных опасностей, создающих нагрузки, которые превышают значения, определенные при оценке опасностей для данной площадки. Граничные условия, устанавливаемые для целей проектирования или оценки, следует обосновывать.

3.25. Применительно к воздействию внешних опасностей необходимо, чтобы кратковременные меры, обеспечивающие целостность границы давления контура теплоносителя реактора и предотвращение эскалации аварии до возникновения запроектных условий с расплавлением активной зоны, осуществлялись системами и службами, имеющимися на площадке (см. пункт 5.17 в SSR-2/1 (Rev. 1) [1]).

3.26. Следует предусматривать надлежащее охлаждение активной зоны, способное функционировать в течение периода, превышающего время, необходимое для задействования внеплощадочных служб.

## АВАРИЙНЫЕ УСЛОВИЯ

3.27. Аварийными условиями, имеющими отношение к проектированию системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем, являются условия, которые потенциально могут приводить к чрезмерным механическим нагрузкам, действующим на систему теплоносителя реактора и связанные с ней системы, или же условия, при которых охлаждение топлива и останов реактора будут невозможны при использовании систем, спроектированных для эксплуатационных состояний.

3.28. При проектировании системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем параметры аварийных условий следует использовать в качестве исходных данных для определения функциональных возможностей, нагрузок и условий окружающей среды. Аварийные условия, учитываемые применительно к системе теплоносителя реактора и связанным с ней системам, включают:

- a) аварии с потерей теплоносителя;
- b) течи теплоносителя реактора из первого во второй контур (реакторы PWR и PHWR);
- c) разрыв главного паропровода или трубопровода питательной воды парогенератора (реакторы PWR и PHWR);
- d) потерю отвода остаточного тепловыделения в условиях останова;
- e) аномалии реактивности и энерговыделения.

3.29. В пунктах 3.30–3.32 приведены рекомендации по выполнению требования 18, изложенного в SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

3.30. Следует обеспечивать, чтобы компьютерные коды и инженерно-технические правила, применяемые при проектировании системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем, документально фиксировались, валидировались и в случае принятия новых норм и правил дорабатывались в соответствии с современными знаниями и общепризнанными стандартами систем менеджмента. Следует обеспечивать также, чтобы пользователи кодов имели соответствующую квалификацию и подготовку по вопросам валидации и применения кодов и допущений, применяемых в моделях кодов.

3.31. Расчет граничных условий для проектных аварий и запроектных условий следует надлежащим образом документировать с указанием допущений, применяемых при оценке параметров, а также технических критериев и используемых компьютерных кодов.

3.32. Компьютерные коды не следует использовать вне рамок установленных и задокументированных границ применимости валидации.

### **Проектные аварии**

3.33. В пунктах 3.34 и 3.35 приведены рекомендации по выполнению требований 19 и 25, изложенных в SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

3.34. Следует составить набор (перечень) проектных аварий и проанализировать поведение системы теплоносителя реактора в случае их возникновения с целью определения необходимых функциональных характеристик систем безопасности.

3.35. Для обеспечения надлежащей работы системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем расчет условий, возникающих в случае проектных аварий, следует проводить с учетом наименее благоприятных исходных условий и характеристик работы оборудования, а также единичного отказа, оказывающего наибольшее влияние на эффективность работы системы безопасности. При выборе надлежащей степени консерватизма следует учитывать, что:

- а) в случае одного и того же события подход, считающийся консервативным при проектировании одной конкретной системы, может быть недостаточно консервативен для другой. Следовательно, для разных событий следует проводить индивидуальный анализ;
- б) чрезмерно консервативные допущения могут привести к избыточной нагрузке на элементы и конструкции.

### **Запроектные условия без значительной деградации топлива**

3.36. В пунктах 3.37–3.42 приведены рекомендации по выполнению требования 20, изложенного в SSR-2/1 (Rev. 1) [1], в отношении запроектных условий без значительной деградации топлива.

3.37. Соответствующие запроектные условия следует определять на основании инженерно-технической оценки, а также с учетом результатов детерминированной и вероятностной оценки.

3.38. В качестве типовых следует учитывать три типа условий запроектных аварий:

- a) события с очень низкой частотой возникновения, могущие привести к развитию ситуаций, при которых системы безопасности не способны обеспечить соблюдение критериев приемлемости (приемочных критериев) применительно к проектным авариям;
- b) множественные отказы (например, отказы по общей причине резервируемых элементов), препятствующие выполнению системами безопасности предписываемых им функций управления постулируемыми исходными событиями;
- c) множественные отказы, приводящие к потере контура передачи тепла конечному поглотителю в режиме нормальной эксплуатации.

3.39. Поскольку множественные отказы с наибольшей вероятностью вызываются возникновением взаимозависимых неисправностей, которые могут привести к отказу систем безопасности, с целью определения соответствующих вариантов развития запроектных условий следует проводить анализ зависимостей между резервными каналами систем безопасности или между средствами, спроектированными в соответствии с принципом неодинаковости (разнообразия), которые предназначены для останова реактора, отвода остаточного тепловыделения от активной зоны и передачи остаточного тепла конечному поглотителю.

3.40. Запроектные условия без значительной деградации топлива следует определять и использовать при разработке проектных основ систем, требующихся для предотвращения перерастания постулируемых последовательностей событий с множественными отказами в запроектные условия с расплавлением активной зоны. К таким запроектным условиям относятся:

- a) обесточивание станции;
- b) ожидаемые переходные процессы без аварийного останова (реакторы PWR и BWR);
- c) полная потеря систем подачи питательной воды (реакторы PWR и PHWR);

- d) малая авария с потерей теплоносителя при отказах в системе аварийного охлаждения активной зоны;
- e) потеря систем передачи остаточного тепла конечному поглотителю;
- f) потеря конечного поглотителя тепла.

3.41. Для определения характеристик эффективности функционирования системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем, требующихся в запроектных условиях, расчет запроектных условий можно проводить с использованием менее консервативных правил, чем критерии, которые применяются для проектных аварий, при условии, что запасы безопасности будут оставаться достаточными для компенсации неопределенностей. Полезным может быть также проведение анализа чувствительности для определения ключевых параметров неопределенностей, которые следует учитывать при проектировании.

3.42. Ослабление последствий запроектных условий следует обеспечивать, насколько это возможно, посредством стационарных систем охлаждения. Для реализации кратковременных мер следует использовать стационарное оборудование.

## ПРЕДЕЛЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И КРИТЕРИИ ПРИЕМЛЕМОСТИ (ПРИЕМОЧНЫЕ КРИТЕРИИ)

3.43. В пункте 3.44 приведены рекомендации по выполнению требований 15 и 28, изложенных в SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

3.44. Следует обеспечивать, чтобы характеристики системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем соответствовали четко определенному и утвержденному<sup>2</sup> своду проектных ограничений и критериев при соблюдении рекомендаций, согласно которым:

- a) элементы системы теплоносителя реактора следует проектировать так, чтобы обеспечивалось исключение превышения соответствующих пределов технологических параметров и напряжений, а также значений кумулятивного коэффициента использования в целях сохранения целостности и работоспособности этих элементов;

---

<sup>2</sup> Под «четко определенным и утвержденным сводом», как правило, подразумевается свод, широко принятый регулирующими органами государств-членов, либо рекомендуемый международными организациями.

- b) связанные с контуром теплоносителя системы следует проектировать так, чтобы обеспечивалось исключение превышения соответствующих проектных пределов и критериев, предусмотренных для ядерного топлива;
- c) связанные с контуром теплоносителя системы следует проектировать так, чтобы обеспечивалось исключение воздействия недопустимых нагрузок на границу (барьер) давления контура теплоносителя реактора.

3.45. Проектные пределы и критерии необходимо определять для всех состояний станции (см. требование 15, изложенное в SSR-2/1 (Rev. 1) [1]).

## НАДЕЖНОСТЬ

3.46. В пунктах 3.47–3.56 приведены рекомендации по выполнению требований 21–26, 29 и 30, изложенных в SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

3.47. Для достижения необходимой надежности системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем применительно к управлению реактивностью активной зоны, поддержанию достаточного запаса теплоносителя в системе теплоносителя реактора, отводу остаточного тепловыделения от активной зоны и передачи остаточного тепла конечному поглотителю следует предусматривать:

- a) проведение классификации по безопасности и применение соответствующих инженерно-технических требований в отношении проектирования и изготовления;
- b) критерии проектирования, относящиеся к системам (например, количество резервных каналов, квалификация на сейсмостойкость, квалификация на работу в суровых условиях окружающей среды и источники электроснабжения);
- c) предотвращение отказов по общей причине путем реализации соответствующих мер, таких как неодинаковость (разнообразие), физическое разделение и функциональная независимость;
- d) компоновочные решения, обеспечивающие защиту системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем от воздействия внутренних и внешних опасностей;
- e) периодическое проведение испытаний и инспекционного контроля;
- f) учет эффектов старения;
- g) проведение технического обслуживания;

- h) использование оборудования, рассчитанного на отказоустойчивое функционирование.

### **Системы, предназначенные для работы в условиях проектных аварий**

3.48. Независимо от последовательных отказов, вызванных постулируемыми исходными событиями, и от единичного отказа, постулируемого в любой системе, которая должна выполнять функцию безопасности, следует обеспечивать, чтобы в случае проектных аварий сохранялась возможность останова реактора, охлаждения активной зоны, управления реактивностью активной зоны, отвода остаточного тепловыделения и передачи тепла конечному поглотителю. При этом следует также учитывать функциональную недоступность систем при выполнении работ по техническому обслуживанию или ремонту.

3.49. Системы, обеспечивающие долговременное поддержание реактора в безопасном состоянии, следует проектировать так, чтобы они выполняли свои функции несмотря на единичный отказ, постулируемый в любой из этих систем (активный отказ, либо пассивный отказ: см. пункт 5.40 в SSR-2/1 (Rev. 1) [1]). Некоторые отказы элементов можно не постулировать (например, некоторые пассивные отказы), если это должным образом обосновано.

3.50. Следует обеспечивать, чтобы источник электроснабжения на площадке (т.е. аварийный дизель-генератор и/или аккумуляторные батареи) имел достаточную мощность для подачи электроэнергии на электрооборудование, которое должно функционировать в случае проектных аварий и обеспечивать останов реактора, охлаждение активной зоны, отвод тепловыделения и передачу остаточного тепла конечному поглотителю, а также долговременное поддержание реактора в безопасном состоянии. Более подробные рекомендации изложены в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-34, «Design of Electrical Power Systems for Nuclear Power Plants» («Проектирование электроэнергетических систем атомных электростанций») [14].

3.51. Следует идентифицировать уязвимости к отказам по общей причине резервируемых элементов оборудования безопасности и применять проектные и компоновочные решения, обеспечивающие максимально возможную независимость резервируемых элементов. В частности, следует обеспечивать надлежащее физическое разделение между резервными каналами систем безопасности, с тем чтобы предотвратить или свести

к минимуму отказы по общей причине из-за последствий опасностей, учитываемых при проектировании.

3.52. Рекомендации в отношении надежности системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем применительно к воздействию внутренних опасностей, внешних опасностей и условий окружающей среды изложены в пунктах 3.14–3.17, 3.19–3.26 и 3.68–3.75 соответственно.

### **Средства обеспечения безопасности в запроектных условиях без значительной деградации топлива**

3.53. Для определения необходимости применения дополнительных средств обеспечения безопасности с целью усиления мер по предотвращению расплавления активной зоны следует проводить анализ надежности систем безопасности, предназначенных для отвода остаточного тепловыделения и передачи тепла конечному поглотителю тепла.

3.54. Следует проводить анализ наиболее вероятных сочетаний постулируемых исходных событий и отказов по общей причине резервируемых элементов систем безопасности. Если последствия превышают пределы, установленные для проектных аварий, то следует повысить надежность систем безопасности (например, устранить уязвимости к отказам по общей причине) или применить дополнительные проектные решения с целью предотвращения перерастания таких событий в аварии с расплавлением активной зоны. Дополнительные устройства для отвода остаточного тепловыделения и для передачи остаточного тепла конечному поглотителю тепла следует проектировать и устанавливать так, чтобы обеспечивалась минимальная вероятность их отказа по одной и той же причине.

3.55. Следует предусматривать, чтобы дополнительные средства обеспечения безопасности имели надежность, достаточную для соблюдения критерия частоты повреждения активной зоны.

3.56. Рекомендации, изложенные в пунктах 3.48–3.52, следует также применять в отношении запроектных условий, принимая во внимание то, что соблюдение критерия единичного отказа не является обязательным, а также что дополнительные средства обеспечения безопасности в запроектных условиях обеспечиваются резервным (альтернативным) источником переменного тока и аккумуляторными батареями.

## ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННАЯ ЗАЩИТА

3.57. В пунктах 3.58–3.61 приведены рекомендации по выполнению требования 7, изложенного в SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

3.58. В соответствии с концепцией глубокоэшелонированной защиты следует предусматривать альтернативные средства останова реактора или поддержания его подкритичности, а также осуществления отвода остаточного тепловыделения и передачи тепла конечному поглотителю тепла в различных состояниях станции.

3.59. Следует идентифицировать уязвимости к отказу по общей причине этих альтернативных средств и оценить последствия такого отказа. Уязвимости к отказу по общей причине следует устранять, насколько это возможно, если следствием такого отказа может быть перерастание в аварию с расплавлением активной зоны.

3.60. Следует обеспечивать, чтобы независимость систем контроля и управления или вспомогательных систем, необходимых для приведения в действие и работы систем контроля и управления, не нарушалась отказом по общей причине.

3.61. Следует предусматривать, чтобы архитектура контрольно-измерительной аппаратуры, обеспечивающая активацию системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем, спроектированных в качестве систем безопасности, была в максимально возможной степени независимой от контрольно-измерительной аппаратуры, используемой для мониторинга состояния станции.

## КЛАССИФИКАЦИЯ ПО БЕЗОПАСНОСТИ

3.62. В пунктах 3.63–3.66 приведены рекомендации по выполнению требования 22, изложенного в SSR-2/1 (Rev. 1) [1]. Кроме того, следует учитывать рекомендации, изложенные в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-30, «Safety Classification of Structures, Systems and Components in Nuclear Power Plants» («Классификация по безопасности конструкций, систем и элементов атомных электростанций») [15].

3.63. Последствия отказа конструкции, системы или элемента следует рассматривать как с точки зрения выполнения функции безопасности, так и

в плане предотвращения радиоактивных выбросов. В случае конструкций, систем и элементов, для которых важны оба этих фактора, класс безопасности и связанные с ним требования к качеству, которые необходимо соблюдать в целях достижения требуемой надежности, следует устанавливать с должным учетом этих двух факторов. Применительно к конструкциям, системам и компонентам, не содержащим радиоактивных материалов, класс безопасности и требования к качеству следует определять непосредственно, исходя из последствий невыполнения данной функции.

3.64. Класс безопасности следует устанавливать последовательным образом так, чтобы все системы, необходимые для выполнения данной одной функции безопасности (включая соответствующие системы вспомогательных служб), относились к единому классу; в противном случае следует обосновывать присвоение другого класса.

3.65. В соответствии с требованием 9, изложенным в SSR-2/1 (Rev. 1) [1], оборудование для поддержания давления, классифицированное по безопасности, должно проектироваться и изготавливаться с соблюдением апробированных норм, правил и стандартов, широко используемых в ядерной отрасли. Более подробные рекомендации приведены в публикациях Серии норм безопасности МАГАТЭ № NS-G-2.2, «Пределы и условия для эксплуатации и эксплуатационные процедуры для атомных электростанций» [16], № SSG-52, «Design of the Reactor Core for Nuclear Power Plants» («Проектирование активной зоны реактора атомных электростанций») [17], и № SSG-63, «Design of Fuel Handling and Storage Systems for Nuclear Power Plants» («Проектирование систем обращения с топливом и его хранения для атомных электростанций») [18]. Правила инженерно-технического проектирования и изготовления для каждого конкретного конструкционного элемента следует устанавливать с должным учетом последствий его отказа как с точки зрения выполнения функции безопасности, так и в плане предотвращения радиоактивных выбросов.

3.66. При применении классификации по безопасности, изложенной в публикации SSG-30 [15]:

- a) системы, предназначенные для предотвращения превышения пределов дозы в случае проектной аварии, следует относить к классу безопасности 1; эти системы могут быть отнесены к классу безопасности 2, если они необходимы для приведения реактора в безопасное состояние;

- b) системам, реализованным для обеспечения резервирования средств обеспечения безопасности в запроектных условиях, следует как минимум присваивать класс безопасности 2. В отношении присвоения функции безопасности категории безопасности 2 в пункте 3.15 в SSG-30 [15] указано, что это: «Любая функция, которая предназначена для обеспечения резервирования функции, отнесенной к категории безопасности 1, и которая требуется для контроля запроектных условий без расплавления активной зоны»;
- c) системы, предназначенные для поддержания основных параметров реактора (например, давления, температуры, уровня воды в компенсаторе давления (объема) и уровня воды в парогенераторе) в пределах, установленных для нормальной эксплуатации, следует относить как минимум к классу безопасности 3;
- d) системам, предназначенным для работы в условиях нормальной эксплуатации, отказ которых не ведет к радиологическим последствиям, превышающим допустимые пределы, установленные для условий эксплуатации, классификация по безопасности не требуется.

## КВАЛИФИКАЦИЯ ПО УСЛОВИЯМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ УЗЛОВ, ВАЖНЫХ ДЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ

3.67. В пунктах 3.68–3.75 приведены рекомендации по выполнению требования 30, изложенного в SSR-2/1 (Rev. 1) [1]. Кроме того, следует учитывать рекомендации, изложенные в публикациях Серии норм безопасности МАГАТЭ № SSG-48, «Управление старением и разработка программы долгосрочной эксплуатации атомных электростанций» [19], и NS-G-1.6 [12].

3.68. Элементы и контрольно-измерительная аппаратура системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем должны быть квалифицированы для выполнения предписываемых им функций во всем диапазоне условий окружающей среды, воздействию которых они могут подвергаться до или во время их эксплуатации, или для них следует обеспечить необходимую защиту от воздействия таких условий окружающей среды (см. требование 30 в SSR-2/1 (Rev. 1) [1]).

3.69. При проведении квалификации по условиям окружающей среды следует учитывать соответствующие условия окружающей среды, которые могут возникать до, во время и после аварии, а также старение конструкций, систем и элементов в течение всего жизненного цикла станции

(см. требование 30 в SSR-2/1 (Rev. 1) [1]). Более подробные рекомендации по управлению старением приведены в SSG-48 [19].

3.70. Квалификацию по условиям окружающей среды следует проводить на основании испытаний, анализа и опыта эксплуатации или путем применения сочетания этих способов.

3.71. При квалификации по условиям окружающей среды следует учитывать такие факторы, как температура, давление, влажность и уровни радиации. Кроме того, следует учитывать коэффициенты запасов безопасности и синергетические эффекты (при которых совокупный ущерб из-за наложения или сочетания воздействий может превышать суммарный ущерб, вызываемый воздействием каждого из явлений, взятых по отдельности). В случаях, когда возможно синергетическое воздействие, квалификацию материалов следует проводить с учетом наиболее тяжелого воздействия, или наиболее тяжелых сочетаний или последовательностей воздействий.

3.72. При наличии надлежащего обоснования возможно применение методик ускоренного состаривания и проведения квалификации.

3.73. Для элементов, подверженных влиянию деградации вследствие старения, возникающей под действием различных механизмов, следует устанавливать проектный срок службы и при необходимости периодичность замены. В процессе квалификации таких элементов образцы следует подвергать старению с целью симулирования окончания их проектного срока службы до проведения испытаний (тестирования) в соответствующих аварийных условиях.

3.74. Элементы, используемые при проведении квалификационных испытаний, как правило, не следует впоследствии использовать при монтаже.

3.75. Данные о квалификации по условиям окружающей среды, соответствующие параметры и действующие требования в отношении проведения квалификации следует указывать (или включать соответствующую ссылку на них) в проектной документации в пригодной для поверки форме на протяжении всего жизненного цикла станции.

## НАГРУЗКИ И СОЧЕТАНИЯ НАГРУЗОК

3.76. Для всех состояний станции и условий эксплуатации в проектных основах всех элементов и конструкций системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем следует учитывать нагрузки и сочетания нагрузок, обусловленные конструкцией, высотой подъема и условиями окружающей среды внутри зданий, а также внутренние и внешние опасности, для противостояния которым необходимо обеспечивать стабильность, целостность, функциональность и работоспособность.

3.77. Условия нагружения, нагрузки и напряжения следует рассчитывать, применяя надлежащие и принятые методологии и правила, с тем чтобы убедиться в стойкости (надежности) конструкции и обеспечить достаточные запасы безопасности, позволяющие компенсировать неопределенности и исключать пороговые эффекты, учитывая при этом:

- a) неопределенности параметров процесса;
- b) неопределенности в описании начальных условий и характеристик систем и элементов;
- c) неопределенности в моделях;
- d) конструктивные допуски;
- e) неопределенности в отношении остаточного тепловыделения;

3.78. Следует идентифицировать и анализировать нагрузки с учетом:

- a) типа нагрузок (статические и постоянные, переходные и динамические или глобальные и локальные нагрузки);
- b) время действия каждой нагрузки (во избежание нереального наложения пиков нагрузки в случаях, когда такие пики не могут возникать одновременно).

3.79. Проектные условия нагружения, включая внутренние и внешние опасные нагрузки, следует относить к разным категориям, которые

соответствуют разным состояниям станций или условиям эксплуатации<sup>3</sup> в соответствии с оцененной частотой их возникновения или в соответствии с требованиями применяемых сводов норм и правил и национальных регулирующих положений (актов).

3.80. Следует устанавливать критерии приемлемости (приемочные критерии), например, проектное давление и температуру, а также предельные напряжения, которые необходимо соблюдать для обеспечения целостности, а также следует обеспечивать, чтобы эти критерии соответствовали всем сочетаниям нагрузок в зависимости от категории таких сочетаний нагрузок.

3.81. Уровни напряжений могут быть разными для различных режимов разрушения (например, прогрессирующей деформации и усталости или чрезмерной деформации и пластической неустойчивости). Следует обеспечивать защиту от хрупкого разрушения, учитывая при этом нагрузки критического напряжения при продольном изгибе, если это относится к данному конкретному случаю.

3.82. Соответствие критериям, установленным в международно признанных нормах, правилах и стандартах, обеспечивает достаточную уверенность в том, что конструкции, системы и элементы способны выполнять предписываемые им функции. Если необходимо доказательно подтвердить работоспособность, следует проводить дополнительные анализы или испытания.

---

<sup>3</sup> Для категорий условий эксплуатации применяются следующие определения:

- нормальные условия эксплуатации: условия нагружения, которым оборудование может подвергаться при нормальной эксплуатации, включая переходные процессы нормальной эксплуатации, а также условия пуска и останова;
- нарушенные условия: условия нагружения, которым оборудование может подвергаться во время переходных процессов в результате возникновения постулируемого исходного события, которое относится к категории ожидаемых при эксплуатации событий;
- условия аварийной ситуации: условия нагружения, которым оборудование может подвергаться во время переходных процессов в результате возникновения постулируемого исходного события, которое относится к категории аварий с низкой частотой возникновения;
- условия, связанные с отказами: условия нагружения, которым оборудование может подвергаться во время переходных процессов в результате возникновения постулируемого исходного события, которое относится к категории аварий с очень низкой частотой возникновения.

3.83. Нормальные условия эксплуатации и нарушенные условия следует определять путем моделирования реакции станции в реальных условиях.

3.84. При определении условий аварийной ситуации и условий, связанных с отказами, следует применять принцип консерватизма (принимая, например, допущения в отношении наличия неблагоприятных неопределенностей в исходных условиях и в процессе функционирования систем и не учитывая действие работоспособных систем и средств контроля, которое обеспечивает благоприятный эффект).

3.85. Конструкции, системы и элементы, необходимые для смягчения последствий аварии, следует проектировать так, чтобы они выдерживали воздействия природных явлений, сохраняя при этом свою способность выполнять предписываемые им проектом функции безопасности. В проектных основах таких конструкций, систем и элементов следует учитывать соответствующие сочетания воздействий эксплуатационных состояний и аварийных условий с воздействиями природных явлений.

3.86. Конструкции, системы и элементы, предназначенные для выполнения предписываемых им функций в условиях аварийной ситуации и в условиях, связанных с отказами, следует проектировать с соблюдением<sup>4</sup> адекватных эксплуатационных пределов для обеспечения требуемой целостности и работоспособности этих узлов при воздействии длительных нагрузок, возникающих в результате постулируемых исходных событий, для реагирования на которые они предназначены.

## МАТЕРИАЛЫ

3.87. В пунктах 3.88–3.92 приведены рекомендации по выполнению требования 47, изложенного в SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

3.88. Материалы, используемые для изготовления границы (барьера) давления системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем, следует определять в соответствующих случаях с учетом их химического состава, микроструктуры, тепломеханических свойств, условий

---

<sup>4</sup> Как правило, регулирующий орган не рассматривает в качестве адекватной меры простое соблюдение требований в отношении предельных напряжений, устанавливаемых нормами и правилами применительно к условиям аварийной ситуации и условиям, связанным с отказами.

термообработки, требований к изготовлению и активации материалов. Следует обеспечивать достаточную однородность этих материалов и их совместимость с контактирующим с ними теплоносителем, а также с соединительными материалами (например, сварочными материалами) и с расположенными рядом с ними элементами и материалами, такими как поверхности скольжения, штоки и сальниковые коробки (уплотнения), наплавки, продукты радиолиза.

3.89. Для сварочных материалов, используемых при изготовлении или ремонте элементов, следует предусматривать спецификации, обеспечивающие достаточную прочность и трещиностойкость сварных швов.

3.90. Следует обеспечивать соответствие материалов, использование которых предусматривается в системе теплоносителя реактора и в связанных с ней системах, применимым положениям норм и правил, в частности в отношении:

- a) стойкости к тепловым нагрузкам;
- b) свойств прочности, ползучести и усталости;
- c) коррозионных и эрозийных свойств, включая стойкость к коррозионному растрескиванию под напряжением;
- d) стойкости к воздействию ионизирующего излучения;
- e) стойкости к термическому охрупчиванию;
- f) стойкости к водородному охрупчиванию;
- g) характеристик пластичности;
- h) характеристик вязкости разрушения (включая прочность как при хрупком, так и при вязком разрушении);
- i) простоты изготовления (включая свариваемость).

3.91. Как отмечается в пункте 6.70 в SSR-2/1 (Rev. 1) [1], материалы, используемые для изготовления конструкций, систем и элементов системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем, «должны выбираться таким образом, чтобы активация материала сводилась к минимуму, насколько это практически возможно».

3.92. Следует обеспечивать, чтобы выбранные материалы подходили для условий эксплуатации, ожидаемых в течение всего жизненного цикла атомной электростанции, а также во всех ее эксплуатационных состояниях и в аварийных условиях. Их следует квалифицировать на основе анализа, испытаний, опыта эксплуатации и его анализа, или сочетания этих методов.

## **Материалы, контактирующие с радиоактивными жидкостями**

3.93. Следует использовать материалы, обладающие высокой устойчивостью ко всем коррозионным явлениям, возникающим в эксплуатационных состояниях, включая ухудшение состояния вследствие коррозии, вызываемой жидкой средой и абразивным воздействием взвешенных твердых частиц.

3.94. В соответствии с пунктом 4.20, изложенным в SSR-2/1 (Rev. 1) [1], необходимо обеспечивать, чтобы используемые материалы облегчали проведение дезактивации.

## **Материалы, подверженные воздействию нейтронного потока с высокой плотностью**

3.95. При выборе материалов, используемых в таких условиях, следует учитывать:

- a) охрупчивание под воздействием нейтронного облучения;
- b) коррозионное растрескивание под напряжением в условиях облучения;
- c) набухание под воздействием нейтронного облучения;
- d) нейтронную активацию;
- e) ползучесть при облучении.

3.96. Для определения риска охрупчивания корпуса реактора следует разработать программу исследования и контроля (надзора), основанную на испытаниях образцов материалов, используемых при изготовлении корпуса реактора. Закладку и выемку таких образцов в корпусе реактора следует производить в соответствии с определенным графиком. После выемки следует проводить механические испытания полученных образцов, включая испытания на прочность при растяжении и ударную вязкость по Шарпи, или испытания на вязкость разрушения. Следует проводить анализ других образцов для оценки флюенса облучения, которому подвергаются стенка корпуса реактора и образцы. Для всех проводимых испытаний следует устанавливать критерии приемлемости (приемочные критерии).

## **ИЗГОТОВЛЕНИЕ И МОНТАЖ**

3.97. В пункте 3.98 приведены рекомендации по выполнению требования 11, изложенного в SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

3.98. В соответствии с требованием 11, изложенным в SSR-2/1 (Rev. 1) [1], узлы, удерживающие давление:

**«должны проектироваться с таким расчетом, чтобы они могли быть изготовлены, сооружены, собраны, смонтированы и возведены в соответствии с установленными процессами, которые обеспечивают выполнение проектных спецификаций и достижение требуемого уровня безопасности».**

Следует создать систему менеджмента процесса изготовления, охватывающую идентификацию и прослеживаемость материалов, сварку, перемещение и хранение изготовленных элементов. Более подробные критерии приведены в нормах, правила и стандартах, используемых при изготовлении.

#### КАЛИБРОВКА, ИСПЫТАНИЯ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ, РЕМОНТ, ЗАМЕНА, ИНСПЕКЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ И МОНИТОРИНГ

3.99. В пунктах 3.100–3.115 приведены рекомендации по выполнению требования 29, изложенного в SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

3.100. В соответствии с требованием 29, изложенным в SSR-2/1 (Rev. 1) [1], необходимо предусматривать ряд мер для обеспечения сохранения способности важных для безопасности конструкций, систем и элементов выполнять предписываемые им функции в течение всего срока их службы. Надлежащей практикой, способствующей выполнению этих требований, является проведение инспекционного контроля и периодических испытаний.

3.101. При проектировании следует разрабатывать техническую основу конструкций, систем и элементов, для которых требуется проведение инспекционного контроля в процессе эксплуатации, исследований, испытаний, технического обслуживания и мониторинга.

3.102. В проекте следует предусматривать решения, облегчающие проведение исследований, испытаний, инспекционного контроля в процессе эксплуатации, технического обслуживания, ремонта и мониторинга на этапах строительства, ввода в эксплуатацию и эксплуатации. Более подробные рекомендации изложены в публикации Серии норм безопасности

МАГАТЭ, № NS-G-2.6, «Техническое обслуживание, надзор и инспекции при эксплуатации на атомных электростанциях» [20].

3.103. Конструкции, системы и элементы, важные для безопасности, следует проектировать и размещать так, чтобы упрощалось проведение надзора и технического обслуживания, обеспечивался своевременный доступ к ним, а в случае отказов обеспечивалась возможность проведения диагностики и ремонта, а также сводились к минимуму риски для ремонтного персонала.

3.104. Разработка стратегий и программ, направленных на проведение исследований, испытаний (тестирования), инспекционного контроля в процессе эксплуатации и мониторинга, является неотъемлемым элементом проектирования системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем. В реализуемых стратегиях и программах следует учитывать результаты исследований по программе инженерии человеческих факторов в целях облегчения эффективного выполнения работ и сведения к минимуму возникновения ошибок, обусловленных человеческим фактором.

3.105. В случае применения в конструкции станции оборудования для обеспечения безопасности, тестирование которого невозможно провести на месте (например, взрывных клапанов), следует применять соответствующую программу надзора, включающую осуществление предэксплуатационных и эксплуатационных мер.

3.106. Для обеспечения приемлемой конструктивной целостности сварных швов и наплавки следует разработать и выполнять исследования неразрушающими методами на основании заранее установленных критериев приемлемости (приемочных критериев) для каждого неразрушающего метода. Перед проведением исследования неразрушающим методом следует проводить квалификационную аттестацию персонала, оборудования и процедур.

### **Предэксплуатационный и эксплуатационный инспекционный контроль системы теплоносителя реактора**

3.107. При проектировании, изготовлении и монтаже элементов, применяемых в пределах границы давления контура теплоносителя реактора, следует предусматривать возможность проведения требуемого инспекционного контроля и испытаний (тестирования) границы давления,

опорных конструкций и элементов на протяжении всего жизненного цикла станции.

3.108. В проекте следует предусматривать возможность доступа к любой части системы теплоносителя реактора, в частности к сварным швам, для проведения их инспекционного контроля в течение всего жизненного цикла станции. В проекте следует определить конкретные зоны, подверженные воздействию циклических нагрузок и нейтронного облучения, и мониторингу этих зон следует уделять особое внимание, с тем чтобы исключить возникновение неприемлемых повреждений вследствие старения, тепловой усталости или воздействия нейтронного облучения.

3.109. При проведении предэксплуатационного и эксплуатационного инспекционного контроля можно использовать методы и критерии, предусмотренные соответствующими национальными и международными нормами, правилами и стандартами.

#### *Предэксплуатационный инспекционный контроль и испытания*

3.110. До начала эксплуатации следует разработать и выполнить программу предэксплуатационного инспекционного контроля и испытаний.

3.111. В целях обеспечения правильности изготовления и монтажа корпуса реактора и элементов границы (барьера) давления контура теплоносителя реактора следует проводить исследования, инспекционный контроль и испытания корпуса реактора и элементов. Это включает проведение:

- a) испытаний гидростатическим давлением корпуса реактора и всех других сосудов и корпусов клапанов, выполняемых изготовителем перед монтажом;
- b) исследований неразрушающими методами с целью контроля сварных соединений корпуса реактора и границы (барьера) давления контура теплоносителя реактора, а также других репрезентативных участков с использованием методов объемного («через стенку») и поверхностного контроля. Эти исследования важны для установления исходного состояния, используемого в качестве базиса для сравнения с результатами инспекционного контроля в процессе эксплуатации;
- c) гидростатических испытаний (в соответствии с нормами и правилами, устанавливающими требования к проектированию и изготовлению) корпуса реактора и системы теплоносителя реактора после завершения монтажа.

Во время выполнения программы предэксплуатационного инспекционного контроля следует определять проектные характеристики для упрощения реализации программы инспекционного контроля в процессе эксплуатации. При этом следует учитывать, что с началом эксплуатации легкий доступ ко многим зонам будет невозможен. В таких случаях следует предусматривать соответствующие проектные решения, обеспечивающие, насколько это практически возможно, проведение инспекционного контроля этих зон.

### *Инспекционный контроль и испытания в процессе эксплуатации*

3.112. Следует обеспечивать, чтобы конструкция корпуса реактора и границы (барьера) давления контура теплоносителя реактора позволяли проводить объемный контроль всех сварных швов, а также выполнять исследования поверхностными методами. В частности, для выполнения таких исследований можно использовать методы ультразвуковой, вихрековой или магнитографической дефектоскопии.

3.113. Количество сварных швов корпуса реактора и в пределах границы (барьера) давления контура теплоносителя реактора, инспекционный контроль которых невозможно проводить в процессе эксплуатации, следует сводить, насколько это возможно, к минимально возможному уровню, а также следует проводить анализ последствий разрушения таких сварных швов.

3.114. При определении критериев инспекционного контроля следует учитывать:

- a) пределы чувствительности исследований неразрушающими методами;
- b) ожидаемое трещинообразование и ожидаемую трещиностойкость (вязкость разрушения) в эксплуатационных состояниях и в аварийных условиях;
- c) места взятия образцов сварного и основного металла, представляющих соответствующие зоны инспекционного контроля корпуса реактора и других основных элементов, подлежащих периодическому ультразвуковому контролю (например, сварные соединения и основной металл с плакировкой, биметаллические сварные швы и зоны патрубков) для калибровочных блоков ультразвукового контроля;
- d) максимально допустимый дефект в эксплуатационных состояниях;
- e) результаты испытаний гидростатическим давлением (с использованием соответствующих норм и правил) на этапе ввода в эксплуатацию;
- f) результаты периодических испытаний на герметичность и гидростатических испытаний;

- g) программу периодического проведения инспекционного контроля в процессе эксплуатации, предусматриваемую соответствующими нормами и правилами;
- h) все средства контроля, применяемые в процессе изготовления, которые должны использоваться в качестве референсных и подлежащих прослеживанию в течение всего срока эксплуатации.

### **Инспекционный контроль парогенераторов**

3.115. Следует обеспечивать, чтобы конструкция парогенераторов позволяла проводить инспекционный контроль парогенераторных труб по всей их длине. Для исследования труб следует использовать оборудование и процедуры, позволяющие выявлять наличие и определять местонахождение значительных дефектов.

### **ЗАЩИТА ОТ ПРЕВЫШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ**

3.116. В пунктах 3.117–3.120 приведены рекомендации по выполнению требования 48, изложенного в SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

3.117. В целях сохранения целостности элементов в соответствии с положениями действующих апробированных норм, правил и стандартов следует обеспечивать защиту всех сдерживающих давление узлов системы теплоносителя реактора и связанных с ними систем от условий превышения давления, возникающих в результате отказов элементов или ожидаемых при эксплуатации событий.

3.118. Устройства защиты от превышения давления следует монтировать настолько близко к защищаемым элементам, насколько это практически возможно.

3.119. Следует обеспечивать достаточную пропускную способность предохранительных устройств, ограничивающих давление, которая будет исключать превышение значений предельных напряжений, установленных для эксплуатации защищаемых элементов.

3.120. При проектировании, изготовлении и анализе поведения конкретного элемента при превышении давления следует использовать одинаковые нормы и правила.

## КОМПОНОВКА

3.121. При проектировании компоновки системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем следует предусматривать решения, направленные на обеспечение:

- a) радиационной защиты персонала площадки;
- b) защиты от последствий разрыва труб (например, волн снижения давления, биения труб, затопления и удара реактивной струи, в том числе от возможных ударных волн);
- c) защиты от внутренних летящих предметов;
- d) вентилирования (газоудаления) и дренажа для системы теплоносителя реактора;
- e) предотвращения стратификации воды и образования скопления газов;
- f) предотвращения эрозии;
- g) предотвращения гидравлических ударов;
- h) минимизации воздействий сейсмических явлений;
- i) минимизации напряжений в трубах (с учетом теплового расширения);
- j) облегчения проведения испытаний (тестирования), инспекционного контроля, ремонта и замены оборудования.

## РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА

3.122. В пунктах 3.123–3.125 изложены рекомендации по выполнению требования 81, изложенного в SSR-2/1 (Rev. 1) [1]. Подробные рекомендации по проектным мерам радиационной защиты изложены в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-1.13, «Аспекты радиационной защиты при проектировании атомных электростанций» [21].

3.123. Следует обеспечивать, чтобы проект компоновки системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем позволял проводить инспекционный контроль, техническое обслуживание, ремонт и замену элементов с учетом требования оптимизации защиты и безопасности посредством удержания радиационных рисков на разумно достижимом низком уровне (см. пункт 3.6 (a) в SSR-2/1 (Rev. 1) [1]).

3.124. Следует предусматривать соответствующие проектные решения (например, экранирование и дистанционное управление клапанами), обеспечивающие возможность выполнения на месте действий, необходимых для управления авариями, без чрезмерного радиационного облучения

эксплуатационного персонала. Аналогичные проектные решения следует предусматривать для обеспечения возможности восстановления систем, необходимых для долговременного поддержания безопасных условий, обеспечивая при этом оптимизацию мер защиты и безопасности.

3.125. Следует обеспечивать снижение до минимума содержания сурьмы, кобальта, серебра и других легко активируемых элементов в материалах, контактирующих с теплоносителем реактора с целью уменьшения активации увлекаемых потоком продуктов коррозии такими радионуклидами, как  $^{124}\text{Sb}$ ,  $^{60}\text{Co}$  и  $^{110}\text{Ag}$ .

### ОБРАЗОВАНИЕ СКОПЛЕНИЯ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ В РЕЖИМЕ НОРМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

3.126. Для предотвращения образования скопления горючих газов в верхних частях элементов (например, в верхней части корпуса реактора, компенсатора давления (объема) и предохранительных клапанов) и в трубах следует предусматривать соответствующие проектные и компоновочные решения.

### ВЕНТИЛИРОВАНИЕ (ГАЗОУДАЛЕНИЕ) И ДРЕНАЖ

3.127. В системе теплоносителя реактора и связанных с ней системах следует предусматривать меры для обеспечения вентилирования (газоудаления) и дренажа.

3.128. Кроме того, следует предусматривать проектные решения для сбора протечек теплоносителя и обращения с ними при работе в режиме нормальной эксплуатации. При эксплуатации реактора могут происходить течи из различных элементов, включая штоки и седла клапанов, уплотнения и прокладки насосов.

### ИНТЕРФЕЙСЫ МЕЖДУ СИСТЕМОЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ РЕАКТОРА И СВЯЗАННЫМИ С НЕЙ СИСТЕМАМИ

3.129. В соединениях между системами или элементами, относящимися к разным классам безопасности, следует предусматривать соответствующие изолирующие устройства (см. SSG-30 [15]). Такие устройства следует

предусматривать для предотвращения ситуаций, в которых отказ системы или элемента может привести к утрате функции безопасности системы или элемента более высокого класса безопасности, а также для ограничения выбросов радиоактивного материала. Изолирующие устройства следует относить к классу безопасности систем или элементов с более высоким классом безопасности, к которым это устройство подсоединяется.

3.130. Конструкции, взаимодействующие с системой теплоносителя реактора и связанными с ней системами, следует рассматривать как элементы, важные для безопасности, и их следует соответственно проектировать с учетом необходимости обеспечения их целостности и функциональных характеристик. К таким конструкциям относятся:

- a) демпфирующие устройства и их анкеры;
- b) ограничители биения трубопроводов;
- c) проходки в здании;
- d) защитные конструкции (например, барьеры и экраны).

### ИЗОЛЯЦИЯ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ (КОНТЕЙНМЕНТА)

3.131. В пункте 3.132 приведены рекомендации по выполнению требования 56, изложенного в SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

3.132. Трубы, проходящие через стену (стены) первичной защитной оболочки (контейнмента), должны иметь необходимые изолирующие устройства (см. пункт 6.22 в SSR-2/1 (Rev. 1) [1]). Проектирование участков трубопроводов между изолирующими (отсечными) клапанами следует выполнять в соответствии с рекомендациями, изложенными в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-53, «Design of the Reactor Containment and Associated Systems for Nuclear Power Plants» («Проектирование защитной оболочки реактора и связанных с ней систем для атомных электростанций») [22].

## КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

3.133. Систему теплоносителя реактора и связанные с ней системы следует оборудовать необходимой контрольно-измерительной аппаратурой для:

- a) мониторинга технологических параметров (например, давления, температуры, уровня воды и расхода), указывающих на то, что система или элемент эксплуатируются в пределах диапазона, установленного для нормальной эксплуатации;
- b) раннего обнаружения ненормальных условий эксплуатации;
- c) обеспечения автоматического срабатывания систем, применение которых необходимо для смягчения последствий аварии;
- d) передачи надлежащей и достоверной информации по управлению аварией в помещение главного щита управления и в центр технической поддержки;
- e) проведения периодических испытаний (тестирования) систем и элементов;
- f) облегчения осуществления и понимания режима технического обслуживания конструкций, систем и элементов.

3.134. В целях сохранения должной независимости различных уровней глубокоэшелонированной защиты следует проводить оценку последствий совместного использования общих датчиков различного назначения. Следует соблюдать, насколько это возможно, указанные ниже рекомендации, которые сводятся к тому, что не следует использовать:

- a) общие датчики для автоматической активации систем и для аварийного мониторинга станции;
- b) одни и те же установленные датчики для автоматической активации системы останова реактора и работы систем безопасности или для активации средств обеспечения безопасности, используемых для усиления мер по предотвращению аварий с расплавлением активной зоны.

3.135. При проектировании каналов контрольно-измерительной аппаратуры следует исключить искажение измеряемых параметров (например, величины, частоты, времени срабатывания и химических характеристик).

3.136. Следует обеспечивать контроль возможных протечек радиоактивного материала из системы теплоносителя реактора и связанных

с ней систем и поступления радиоактивного материала в эти системы. Более подробные рекомендации изложены в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-39, «Проектирование систем контроля и управления для атомных электростанций» [23].

## МНОГОБЛОЧНЫЕ АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

3.137. Требование 33, изложенное в SSR-2/1 (Rev. 1) [1], гласит: **«Каждый энергоблок многоблочной АЭС имеет свои собственные системы безопасности и свои собственные средства безопасности для запроектных условий».**

## НОРМЫ, ПРАВИЛА И СТАНДАРТЫ

3.138. В пункте 3.139 приведены рекомендации по выполнению требования 9 и пунктов 4.14–4.16, изложенных в SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

3.139. При проектировании системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем необходимо использовать апробированные и широко принятые нормы, правила и стандарты. Следует обеспечивать, чтобы выбранные нормы, правила и стандарты были предназначены для применения к данному проекту и составляли комплексный и исчерпывающий набор стандартов и критериев. При проектировании и строительстве рекомендуется руководствоваться последними изданиями применяемых норм, правил и стандартов. Пункт 4.16 в SSR-2/1 (Rev. 1) [1] гласит:

«В случае применения неапробированной конструкции или решения или в случае отхода от установленной инженерно-технической практики обеспечение безопасности должно подтверждаться посредством соответствующих вспомогательных исследовательских программ, эксплуатационных испытаний с конкретными критериями приемлемости или рассмотрения эксплуатационного опыта, приобретенного в других соответствующих применениях. Новая конструкция или решение или новая практика должны также проходить надлежащие испытания в той мере, в которой это представляется практически возможным, прежде чем они будут введены в эксплуатацию, и должны контролироваться в процессе эксплуатации с целью подтвердить, что поведение станции соответствует ожидаемому».

3.140. Пункт 4.6 в SSG-30 [15] гласит:

«Лицензиату или заявителю следует обеспечить и обосновать соответствие между классом безопасности и соответствующими правилами технического проектирования и производства, включая нормы и/или стандарты, применяемые к каждой КСЭ [конструкции, системе или элементу]».

Нормы, правила и стандарты, разработанные различными национальными и международными организациями, охватывают:

- a) материалы;
- b) изготовление (например, сварка) и строительство;
- c) строительные конструкции;
- d) сосуды и трубы, работающие под давлением;
- e) системы контроля и управления;
- f) квалификацию по условиям окружающей среды и квалификацию на сейсмостойкость;
- g) предэксплуатационный и эксплуатационный инспекционный контроль и испытания;
- h) систему менеджмента;
- i) противопожарную защиту.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

3.141. В пунктах 3.142 и 3.143 приведены рекомендации по выполнению пункта 5.76, изложенного в SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

3.142. Для подтверждения надежности системы теплоносителя реактора и связанных с ней систем с точки зрения предотвращения значительного повреждения топлива, а также для идентификации наиболее вероятных отказов по общей причине и множественных отказов, которые можно рассматривать в качестве иницирующих событий для развития запроектных условий, следует сочетать вероятностный анализ с детерминированным методом оценки.

3.143. Вероятностный анализ следует использовать в рамках процесса выбора оптимальных проектных решений и оценки их эффективности.

## **4. КОНЕЧНЫЙ ПОГЛОТИТЕЛЬ ТЕПЛА И СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ОСТАТОЧНОГО ТЕПЛА**

4.1. В данном разделе приведены рекомендации по выполнению требования 53, изложенного в SSR-2/1 (Rev. 1) [1], в отношении систем, предназначенных для передачи остаточного тепла от различных систем отвода остаточного тепловыделения к конечному поглотителю тепла.

### **КОНЕЧНЫЙ ПОГЛОТИТЕЛЬ ТЕПЛА**

4.2. Конечным поглотителем тепла является среда, в которую отводятся остаточные тепловыделения, образующиеся в различных состояниях станции после останова реактора; как правило, это — водный объект значительного объема, или атмосфера, или их сочетание. Водный объект может представлять собой море, реку, озеро, водохранилище, подземные воды или любое их сочетание, но в целом доступ к неисчерпаемым естественным запасам воды предпочтительнее ограниченного объема. В случае с атмосферным конечным поглотителем тепла, как правило, для передачи тепла в атмосферу используются градирни или брызгальные бассейны с соответствующими конструкциями и системами. Кроме того, в некоторых проектах реакторных установок с пассивными системами для отвода остаточного тепловыделения от реактора непосредственно после возникновения переходных режимов и аварийных условий используется исключительно атмосфера. Среда, используемая в качестве приемника остаточного тепла, может также применяться для охлаждения конденсаторов турбин при работе на мощности, однако такие системы передачи тепла не являются предметом настоящего Руководства по безопасности.

4.3. Следует предусматривать, чтобы элементы, важные для безопасности, которые предназначены для взаимодействия со средой конечного поглотителя тепла в проекте многоблочных станций, были отдельными для каждого энергоблока.

4.4. Следует обеспечивать, чтобы теплоемкость конечного поглотителя тепла была достаточной для поглощения остаточного тепловыделения от всех реакторов и бассейнов выдержки отработавшего топлива, находящихся на площадке. Теплоемкость следует рассчитывать с учетом возможности одновременного возникновения аварийных условий на всех энергоблоках.

4.5. Надежность и кратковременную и долговременную теплоемкость конечного поглотителя тепла следует обеспечивать с учетом всех возможных тепловых нагрузок, возникающих в режимах нормального останова, в случае ожидаемых при эксплуатации событий и в аварийных условиях, коэффициентов теплоотвода в этих условиях и соответствующих регулирующих положений (нормативных документов) в области охраны окружающей среды.

4.6. Кратковременную и долговременную теплоемкость конечного поглотителя тепла следует предпочтительно обеспечивать за счет использования неисчерпаемых естественных источников воды или атмосферного пространства. При отсутствии доступа к неисчерпаемому источнику воды или атмосфере на площадке:

- a) теплоемкость конечного поглотителя тепла следует обеспечивать за счет постоянного наличия необходимого объема воды на площадке. Следует предусматривать, чтобы эта теплоемкость была достаточной для поглощения всех тепловых нагрузок, возникающих на площадке, на период до пополнения системы конечного поглотителя<sup>5</sup>. При этом следует учитывать факторы, которые могут задерживать процесс пополнения. К таким факторам относятся испарение, события техногенного происхождения, природные опасности, аварийные условия на станции, наличие смежных соединений и сложность процедур пополнения;
- b) следует обеспечивать наличие минимального количества воды, включая запасы на случай непредвиденных обстоятельств, немедленно доступной при переводе реакторов в состояние безопасного останова при возникновении любого постулируемого исходного события. Применительно к каждому энергоблоку в бассейнах градирен или брызгальных бассейнах, предназначенных для данного энергоблока, следует обеспечивать наличие такого минимального объема воды<sup>6</sup>;
- c) помимо этого минимального объема дополнительные объемы воды, необходимые для пополнения, могут храниться в находящемся

---

<sup>5</sup> Этот объем воды, немедленно доступной для использования (включая воду, хранящуюся на площадке в баках или резервуарах), в некоторых государствах устанавливается соответствующим тридцати суткам использования за исключением случаев, когда на основе проведения консервативного анализа может быть обоснован более короткий интервал времени.

<sup>6</sup> Этот объем воды в некоторых государствах рассчитывается, исходя из потребностей обеспечения теплоотвода в течение трех суток.

на площадке резервуаре с возможностью подачи этой воды из размещаемого на площадке резервуара к конечному поглотителю тепла. Такую систему подачи воды следует рассматривать как вспомогательную систему, используемую для выполнения функции безопасности конечного поглотителя тепла, и ее следует относить к соответствующему классу безопасности;

- d) с точки зрения обеспечения долговременной теплоемкости конечного поглотителя тепла следует предусматривать установку стационарных систем подпитки для пополнения расположенных на площадке резервуаров с производительностью, соответствующей потребностям долговременного теплоотвода.

4.7. Для достижения целей проектирования с точки зрения производительности и надежности, а также применения концепции глубокоэшелонированной защиты (см. требование 7 в SSR-2/1 (Rev. 1) [1]) может потребоваться другой конечный поглотитель тепла или другой доступ к конечному поглотителю тепла (см. пункт 6.19A в SSR-2/1 (Rev. 1) [1]).

4.8. При проектировании конструкций, связанных с конечным поглотителем тепла, следует предусматривать их способность выдерживать нагрузки, возникающие в связи с опасностями, определенными в оценке опасностей на площадке. Рекомендации по учету внешних событий (например, экстремальных температур и условий, шуги, обледенения, наводнений, цунами, сильных ветров, биологических явлений, столкновений с плавучими объектами, засорения, маловодья, заиливания песком и илом, а также явлений, связанных с углеводородами) при проектировании таких конструкций приведены в NS-G-1.5 [10].

4.9. Проектные решения, обеспечивающие эффективность и доступность конечного поглотителя тепла с учетом природных опасностей на площадке, следует разрабатывать с достаточными запасами безопасности, позволяющими противостоять воздействию природных опасностей, масштабы которых превышают уровни, определенные при оценке опасностей на площадке (см. пункт 5.21A в SSR-2/1 (Rev. 1) [1]).

4.10. При определении необходимой теплоемкости конечного поглотителя проектные параметры окружающей среды следует устанавливать с учетом предполагаемой продолжительности существования таких условий (см. NS-G-1.5 [10]).

4.11. Следует обеспечивать, чтобы кратковременные колебания параметров окружающей среды не оказывали чрезмерного влияния на эффективность конечного поглотителя тепла.

4.12. В проектные параметры окружающей среды следует включать температуру воды конечного поглотителя тепла, используемого для прямоточных систем водяного охлаждения, и температуру воздуха по сухому термометру в случае сухих градирен. Значения температуры как по влажному, так и по сухому термометру являются необходимыми параметрами окружающей среды для мокрых градирен, прудов-охладителей и брызгальных бассейнов, а также других систем передачи тепла, в которых используется испарительное охлаждение.

4.13. Следует обеспечивать сохранение функции отвода тепловой нагрузки при любых перебоях в электроснабжении или в случае потери работоспособности систем нормального теплоотвода.

4.14. Конечный поглотитель тепла следует проектировать с учетом необходимости обеспечивать поглощение соответствующих тепловых нагрузок при максимальном пиковом коэффициенте теплоотвода в различных состояниях станции с учетом зависящего от времени поведения отдельных тепловых нагрузок.

4.15. При установлении максимального значения коэффициента теплоотвода следует определить наиболее жесткое сочетание отдельных тепловых нагрузок для всех постулируемых исходных событий, при которых система должна работать в режиме нормальной эксплуатации или выполнять функции безопасности.

4.16. При определении необходимой теплоемкости конечного поглотителя тепла и непосредственно связанных с ним систем передачи тепла следует точно устанавливать различные источники тепла и определять их зависящее от времени поведение в целях поддержания температуры теплоносителя в установленных пределах. Следует учитывать такие тепловые нагрузки, как:

- a) остаточное тепло системы теплоносителя реактора;
- b) остаточное тепловыделение при выдержке отработавшего топлива в максимальном заполненном хранилище;
- c) тепло, выделяемое при эксплуатации конструкций, систем и элементов, для обеспечения безопасной остановки станции и ее поддержания в этом состоянии, а также для смягчения последствий аварии (если

тепло, выделяемое элементами, транспортируется по контуру передачи остаточного тепла);

- d) тепло от других источников, связанных с аварией (например, в результате химических реакций).

4.17. При определении нагрузок, связанных с остаточным тепловыделением в реакторе (в том числе тепла радиоактивного распада, тепла, связанного с ядерным делением при останове, и энергии, запасенной в системе теплоносителя реактора и других работающих теплоотводящих системах и конструкциях), следует исходить из допущения, что топливо отработало на мощности в течение срока, при котором оно выходит на максимальную нагрузку по остаточному тепловыделению. Оценку остаточного тепловыделения от радиоактивного распада следует выполнять в соответствии с применимыми стандартами.

4.18. Суммарную тепловую нагрузку и коэффициент теплоотвода от отработавшего топлива следует оценивать, исходя из максимального числа отработавших топливных элементов, которые могут храниться на площадке одновременно. Следует использовать кривые тепловыделения от радиоактивного распада для конкретного топлива (применяя для различных тепловыделяющих элементов соответствующие индивидуальные значения времени после останова) либо единую для всех тепловыделяющих элементов консервативную усредненную оценку времени после останова.

4.19. В аварийных условиях могут возникать дополнительные источники тепла, такие как экзотермические реакции воды с металлом оболочки тепловыделяющих элементов или другие химические реакции в пределах защитной оболочки (контейнента), приводящие к выделению тепла. Если выясняется, что потенциальные реакции металла с водой играют значительную роль в качестве дополнительного источника тепла, следует количественно определять их зависимость от времени и включать эти данные в критерии определения размеров поглотителя.

## СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ОСТАТОЧНОГО ТЕПЛА

4.20. В состав контура передачи остаточного тепла входят промежуточные системы охлаждения и система охлаждения, непосредственно связанная с конечным поглотителем тепла. Промежуточная система охлаждения проектируется как замкнутая система, передающая тепло от систем отвода остаточного тепловыделения в систему охлаждения, непосредственно

связанную с конечным поглотителем тепла. Система охлаждения, непосредственно связанная с конечным поглотителем тепла, представляет собой незамкнутую систему, которая забирает воду из конечного поглотителя (посредством насосной станции), обеспечивает охлаждение промежуточной системы охлаждения и сбрасывает переданные тепловые нагрузки в конечный поглотитель.

4.21. В пунктах 4.22–4.27 приведены рекомендации по выполнению требований 7 и 53, изложенных в SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

4.22. При проектировании систем передачи тепла следует учитывать все источники остаточного тепловыделения на атомной электростанции<sup>7</sup>.

4.23. В соответствии с концепцией глубокоэшелонированной защиты в проекте следует предусматривать множественные средства передачи остаточного тепловыделения конечному поглотителю тепла.

4.24. В случаях, когда при проектировании не предусматривается работа системы теплоотвода с системой теплоносителя реактора в условиях высоких температур, остаточное тепловыделение, отводимое вторым контуром реактора, может напрямую сбрасываться в атмосферу, которая представляет собой второй конечный поглотитель тепла (реакторы PWR и PHWR в случае ожидаемых при эксплуатации событиях и в аварийных условиях). В соответствии с принципом неодинаковости (разнообразия) следует обеспечивать, чтобы работа элементов, необходимых для подпитки и продувки парогенераторов, не находилась в прямой зависимости от функционирования контура теплопередачи.

4.25. Для обеспечения эффективного применения концепции глубокоэшелонированной защиты следует обеспечивать независимость, насколько это практически осуществимо, различных предусмотренных проектом средств передачи тепла. В частности, на случай аварий с расплавлением активной зоны следует предусматривать еще один независимый контур теплопередачи (см. SSG-53 [22]).

4.26. При проектировании и изготовлении контуров теплопередачи и связанных с ними систем и элементов следует применять рекомендации

---

<sup>7</sup> Если тепло, выделяющееся при работе некоторых элементов, также отводится и транспортируется этими системами, следует учитывать соответствующие дополнительные тепловые нагрузки.

по проектированию, разработанные с учетом класса безопасности этих конструкций, систем и элементов, определяемого в соответствии с их значимостью для безопасности.

4.27. Если проектом предусматривается конечный поглотитель тепла ограниченной теплоемкости, выбор системы теплопередачи, с которой он непосредственно связан, может быть обусловлен необходимостью поддержания запаса воды в конечном поглотителе тепла; это приводит к увеличению времени, требующегося для поступления подпиточной воды.

### **Передача остаточного тепла в эксплуатационных состояниях**

4.28. В пунктах 4.29–4.40 приведены рекомендации по выполнению требования 51, изложенного в SSR-2/1 (Rev. 1) [1]; они дополняют общие рекомендации раздела 3.

4.29. Системы следует проектировать так, чтобы они обеспечивали передачу всех тепловых нагрузок, возникающих при управлении температурой теплоносителя первого контура реактора в стояночных режимах, а также при управлении температурой бассейна выдержки отработавшего топлива в пределах температурного диапазона, установленного для эксплуатационных состояний.

4.30. Следует предусматривать решения, не допускающие ухудшения теплопередачи вследствие единичного отказа любого элемента, наличие которого требуется для передачи остаточного тепла конечному поглотителю тепла.

4.31. Следует обеспечивать сохранение возможности передачи остаточного тепла в условиях потери внеплощадочного электроснабжения.

4.32. Следует предусматривать, чтобы в состав контура теплопередачи входила промежуточная система охлаждения для предотвращения утечки теплоносителя первого контура реактора в конечный поглотитель тепла.

4.33. Следует обеспечивать, чтобы возможности передачи тепловых нагрузок соответствовали требуемым характеристикам системы отвода остаточного тепловыделения реактора и системы охлаждения отработавшего топлива.

4.34. Теплоемкость бассейна выдержки отработавшего топлива следует рассчитывать исходя из его максимальной вместимости с учетом граничных условий, установленных для тепловых нагрузок.

4.35. Теплоемкость следует рассчитывать так, чтобы обеспечивалась передача тепловых нагрузок, возникающих в эксплуатационных состояниях, с учетом необходимости поддержания температуры конечного поглотителя тепла в пределах диапазона, установленного для режима нормальной эксплуатации.

4.36. Если системы передачи остаточного тепловыделения также используются и для отвода остаточного тепловыделения после проектных аварий (см. пункты 4.41–4.44), их следует проектировать в соответствии с рекомендациями, изложенными в пунктах 3.38, 3.40, 3.54 и 3.58. В таких случаях следует обеспечивать, чтобы отказ оборудования, работающего только в эксплуатационных состояниях, не приводил к отказам оборудования, предназначенного для работы в условиях проектных аварий.

#### *Особые вопросы, учитываемые при проектировании*

4.37. При проектировании следует предусматривать систему мониторинга для обнаружения радиоактивности в промежуточной системе охлаждения.

4.38. Следует предусматривать защиту промежуточной системы охлаждения от превышения давления, вызванного течами в теплообменниках, которые взаимодействуют с системами охлаждения, работающими при более высоком давлении. В таких случаях следует обеспечивать, чтобы конструкция промежуточной системы охлаждения исключала протечки теплоносителя первого контура за пределы защитной оболочки (контейнента).

4.39. Следует обеспечивать защиту насосов системы охлаждения, непосредственно связанной с конечным поглотителем тепла, от мусора и биологического обрастания путем применения:

- a) программы контроля биологического обрастания и очистки теплообменников с надлежащей периодичностью с целью минимизации ухудшения характеристик теплоотвода системы;
- b) программы надзора (контроля) и мониторинга с целью значительного снижения вероятности возникновения проблем, связанных с блокировкой потока из-за биологического обрастания или попадания посторонних предметов.

4.40. При расчете производительности системы охлаждения, непосредственно связанной с конечным поглотителем тепла, следует учитывать:

- a) максимальный коэффициент теплоотвода;
- b) параметры окружающей среды для проектирования (например, температуру воды и воздуха, относительную влажность);
- c) объемы подачи теплоносителя.

### **Передача остаточного тепла в случае проектных аварий**

4.41. Если системы, работающие в условиях нормального останова, спроектированы не в соответствии с требованиями инженерно-технического проектирования, предъявляемыми к системам безопасности, в проекте станции следует предусматривать дополнительные системы передачи остаточного тепла конечному поглотителю в случае проектных аварий.

4.42. Теплоемкость следует проектировать с расчетом на передачу тепловых нагрузок, возникающих в случае проектных аварий, исходя из расчетной температуры конечного поглотителя тепла, установленной для аварийных условий.

4.43. При проектировании контура теплопередачи следует обеспечивать соблюдение рекомендаций, изложенных в пункте 3.58.

4.44. Контур теплопередачи следует проектировать с характеристиками, требующимися в случае проектных аварий для одновременного выполнения предписываемых функций передачи:

- a) остаточного тепла от системы теплоносителя реактора конечному поглотителю;
- b) тепла от системы охлаждения бассейна выдержки отработавшего топлива конечному поглотителю;
- c) тепла от защитной оболочки (контейнмента) конечному поглотителю тепла;
- d) тепла от водоохлаждаемых конструктивных элементов.

### **Передача остаточного тепла в запроектных условиях**

4.45. Условия, требующие использования дополнительного оборудования (т.е. средств обеспечения безопасности в запроектных условиях), зависят от технологии и конструкции реактора, и их следует постулировать путем

применения детерминированного метода в сочетании с вероятностной оценкой безопасности уровня 1. В частности, следует предусматривать:

- a) обеспечение возможности передачи остаточного тепла конечному поглотителю тепла при обесточивании станции. Это может достигаться, например, за счет электроснабжения контура охлаждения от альтернативных источников питания переменного тока и/или использования пассивной системы отвода остаточного тепловыделения через второй контур;
- b) проведение оценки потребностей в передаче остаточного тепла конечному поглотителю тепла при потере контура охлаждения, рассчитанного на функционирование в случае проектных аварий. Это может обеспечиваться, например, посредством применения пассивной системы отвода остаточного тепловыделения через второй контур или за счет контура теплопередачи для случая возникновения запроектных условий с значительным повреждением топлива.

4.46. В соответствии с рекомендациями, изложенными в пунктах 3.38, 3.40, 3.54 и 3.58, для запроектных условий следует предусматривать дополнительные средства обеспечения безопасности.

## **5. ОСОБЫЕ ВОПРОСЫ, УЧИТЫВАЕМЫЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ РЕАКТОРА**

5.1. Система теплоносителя реактора образует границу давления системы теплоносителя реактора и, следовательно, является барьером на пути распространения радиоактивных выбросов, который должен сохраняться, насколько это возможно, во всех эксплуатационных состояниях и в аварийных условиях. Система теплоносителя реактора транспортирует теплоноситель и, следовательно, тепло от активной зоны реактора к парогенераторам (реакторы PWR и PHWR) или непосредственно к турбогенератору (реакторы BWR). Кроме того, система теплоносителя реактора является частью маршрута отвода тепла от активной зоны реактора к конечному поглотителю во время останова и во всех переходных режимах, которые учитываются при проектировании системы теплоносителя реактора. В состав системы теплоносителя реактора входит корпус реактора,

трубопроводы и насосы, обеспечивающие циркуляцию теплоносителя, а также (реакторы PWR и PHWR) парогенераторы и компенсатор давления (объема).

## 5.2. В технологии реакторов PHWR:

- a) ключевой технологической системой в реакторах PHWR является система теплоносителя первого контура реактора, включающая систему охлаждения при останове и систему замедлителя. Система теплоносителя первого контура обеспечивает циркуляцию тяжелой воды под давлением через топливные каналы, удаляя образующееся в топливных каналах тепло. Это тепло передается обычной легкой воде в парогенераторах, расположенных внутри здания реактора. Для отвода остаточного тепловыделения от топлива во время останова используется система охлаждения при останове совместно с системой теплоносителя первого контура реактора;
- b) система теплоносителя реактора состоит из циркуляционных насосов первого контура, элементов парогенераторов на стороне первого контура, входного и выходного коллекторов реактора, топливных каналов, компенсатора давления (объема), фидеров и трубопроводов до изолирующих устройств включительно, а также системы охлаждения при останове;
- c) тяжеловодный замедлитель циркулирует через каландр и охлаждается в системе с относительно низкой температурой и низким давлением. Система состоит из насосов и теплообменников. Теплообменники снимают тепло, образующееся в замедлителе, и тепло, передаваемое замедлителю от топливных каналов. В качестве защитного газа над тяжеловодным замедлителем и в каландре используется гелий.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ

5.3. В пунктах 5.4–5.16 приведены рекомендации по выполнению требования 47, изложенного в SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

5.4. При проектировании и изготовлении границы (барьера) давления контура теплоносителя реактора и границы (барьера) давления второго контура в реакторах PWR и PHWR следует разрабатывать технические условия (спецификации), обеспечивающие высокую надежность этих элементов. При разработке этих технических условий следует использовать апробированные нормы, правила и стандарты в их последней редакции

с учетом регулирующих требований и накопленного опыта; в таких технических условиях следует предусматривать положения, касающиеся:

- a) анализа соответствующих потенциальных режимов разрушения и подбора необходимых материалов с апробированными конструкционными характеристиками;
- b) всесторонней идентификации нагрузок и сочетания нагрузок и соответствующих запасов безопасности с учетом критериев отказа;
- c) изготовления и инспекционного контроля с учетом апробированной и соответствующей квалификационным требованиям промышленной практики;
- d) программы проведения инспекционного контроля в процессе эксплуатации для верификации поддержания исходного качества оборудования в течение всего срока его службы и, в частности, для подтверждения отсутствия трещин или дефектов, значимых для безопасности.

5.5. Следует обеспечивать высокую степень уверенности в качестве проектирования и изготовления крупногабаритных узлов и элементов системы теплоносителя реактора и таким образом не рассматривать отказ таких узлов и элементов в качестве постулируемого исходного события при проектировании станции (ввиду того, что смягчение последствий такого отказа не может быть обеспечено на разумно достижимом уровне).

5.6. В соответствии с критериями, изложенными в соответствующих нормах и правилах, при проектировании в качестве различных типов режима отказа следует учитывать:

- a) чрезмерную пластическую деформацию;
- b) упругую или упруго-пластическую нестабильность (продольный изгиб);
- c) прогрессирующую деформацию и ухудшение теплового контакта ядерного топлива с оболочкой;
- d) прогрессирующее растрескивание вследствие механической и тепловой усталости;
- e) быстрое разрушение, в том числе хрупкое, при наличии дефектов конструкции.

5.7. Для обеспечения целостности системы теплоносителя реактора при проектировании, изготовлении и/или эксплуатации, а также в ходе инспекционного контроля в процессе эксплуатации следует проводить

идентификацию и обеспечивать исключение любых условий (приводящих, в частности, к коррозии, стратификации или старению), которые могут влиять на геометрию или конструкционные характеристики оборудования или приводить к появлению дефектов.

5.8. В целях предотвращения образования быстрорастущих трещин в условиях нормальной эксплуатации, во время ожидаемых при эксплуатации нарушений, в случае проектных аварий и в запроектных условиях без значительной деградации топлива при проектировании оборудования системы теплоносителя реактора следует обеспечивать, чтобы напряжения, действующие в этом оборудовании, не превышали значений, установленных для конструкционных материалов.

5.9. Для каждого элемента системы теплоносителя реактора следует определять циклически повторяющиеся условия на станции, способные приводить к появлению усталостных трещин. Эти состояния станции следует идентифицировать на этапе проектирования, с тем чтобы обеспечить возможность их мониторинга во время эксплуатации станции, и для каждого такого состояния следует устанавливать допустимую частоту возникновения в соответствии с оценкой коэффициента использования каждого элемента.

5.10. Для обнаружения течей теплоносителя и количественной оценки таких течей в эксплуатационных состояниях следует предусматривать соответствующие системы, характеризуемые требуемой точностью, надежностью и временем срабатывания.

## ПРОЕКТНЫЕ НАГРУЗКИ И СОЧЕТАНИЯ НАГРУЗОК

5.11. При проектировании конструкции границы (барьера) давления контура теплоносителя (первого контура) реактора, а также границы (барьера) давления второго контура (реакторы PWR и PHWR) расчеты следует выполнять на основе ограниченного числа нагрузок и сочетаний нагрузок, составляющих диапазон расчетных нагрузок, которые могут воздействовать на оборудование в течение его срока службы. В проекте следует учитывать эксплуатацию станции в нормальном режиме, в случае ожидаемых при эксплуатации событий и в аварийных условиях, возникающих в результате постулируемых исходных событий, а также опасности на площадке, учитываемые в проектных основах оборудования.

5.12. При низких температурах эксплуатации пластичность и сопротивление разрушению некоторых материалов могут быть значительно ниже, чем при температурах нормальной эксплуатации. Если такие материалы используются для изготовления элементов, удерживающих давление, следует определить допустимые нагрузки при низких температурах эксплуатации, допустимые эксплуатационные диапазоны давления и температуры, а также предусматривать систему защиты (например, систему защиты от превышения давления) для предотвращения хрупкого разрушения материала конструктивных элементов с учетом заданных диапазонов давлений и температур, установленных для нормальной эксплуатации станции.

5.13. Следует обеспечивать, чтобы напряжения, возникающие в нормальных условиях эксплуатации и в нарушенных условиях (см. пункт 3.79), не превышали значения предельных напряжений, установленных для рассматриваемых категорий условий нагружения. Не следует превышать расчетную температуру, и надлежащей практикой является исключение превышения расчетного давления. Следует обеспечивать, чтобы кумулятивный коэффициент использования каждого элемента был менее единицы.

5.14. Применительно к условиям нагружения, относящимся к категории условий аварийной ситуации, при установлении критериев проектирования следует ориентироваться на предотвращение быстрого разрушения оборудования, а также на предотвращение чрезмерной деформации или продольного изгиба. Следует обеспечивать, чтобы напряжения не превышали предельных значений, установленных для данной категории условий нагружения. Допускается превышение давления в условиях аварийной ситуации относительно проектного давления, если это превышение будет ограничено по величине и времени (например, не более 110% от проектного давления).

5.15. Применительно к условиям нагружения, относящимся к условиям, связанным с отказами, при установлении критериев проектирования следует ориентироваться на сохранение целостности оборудования. Следует обеспечивать, чтобы напряжения не превышали предельных значений, установленных для данной категории условий нагружения (например, не более 130% от проектного давления).

5.16. Теплогидравлические условия в системе теплоносителя реактора следует мониторировать в течение всего жизненного цикла станции с целью

выявления и регистрации состояний, которые могут приводить к усталости оборудования системы теплоносителя реактора. Результаты такого мониторинга следует использовать для подтверждения того, что частота возникновения событий, установленная для каждого состояния станции (см. пункт 5.9), не превышает в течение срока службы станции и что риск растрескивания, обусловленного усталостью материала, минимален.

## КОНТРОЛЬ УСЛОВИЙ ОХЛАЖДЕНИЯ В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СОСТОЯНИЯХ

5.17. В пунктах 5.18 и 5.19 приведены рекомендации по выполнению требования 49, изложенного в SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

5.18. Следует предусматривать проектные решения, обеспечивающие мониторинг, индикацию и контроль важных параметров системы теплоносителя реактора (например, давления и температуры в системе теплоносителя реактора, запасов воды в системе теплоносителя реактора, расхода пара и питательной воды (реакторы BWR), давления и уровней воды в парогенераторах (реакторы PWR и PHWR) с целью поддержания указанных параметров в пределах диапазонов, установленных для нормальной эксплуатации и ожидаемых при эксплуатации событий, а также раннего обнаружения любых отклонений от нормальных значений. Поддержание этих параметров в пределах диапазонов, установленных для нормальной эксплуатации, позволяет обеспечивать надлежащие условия охлаждения топлива.

5.19. Конструкции, системы и элементы, обеспечивающие надлежащие условия охлаждения топлива, следует классифицировать как элементы, важные для безопасности, и соответствующим образом проектировать и изготавливать (см. пункты 3.62–3.66).

## РЕГУЛИРОВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТА ОТ ПРЕВЫШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

5.20. Рекомендации, изложенные в пунктах 5.21–5.27, относятся к проектированию системы регулирования давления в системе теплоносителя реактора и во втором контуре реакторов PWR и PHWR.

5.21. При проектировании системы регулирования давления в системе теплоносителя реактора и во втором контуре следует применять концепцию глубокоэшелонированной защиты. В соответствии с данной концепцией для регулирования давления следует использовать системы и элементы, имеющие различную производительность, с тем чтобы применяемые предупредительные меры были пропорциональны тяжести ожидаемых при эксплуатации событий и аварийных условий.

5.22. Для снижения вероятности отказов по общей причине при проектировании систем регулирования давления и защиты от превышения давления следует применять принцип неодинаковости (разнообразия).

5.23. Если в определенных режимах эксплуатации компенсатор давления (объема) может быть изолирован от системы теплоносителя реактора (например, при разогреве или расхолаживании реактора PHWR), в составе системы регулирования давления и контроля запасов теплоносителя следует предусматривать альтернативные средства регулирования давления и объема запасов теплоносителя реактора, такие как система клапанов подпитки/продувки с автоматическим управлением. В таких случаях следует предусматривать оснащение компенсатора давления (объема) независимыми предохранительными устройствами и/или устройствами сброса давления.

5.24. При проектировании систем, предназначенных для регулирования давления, следует исключить возможность срабатывания предохранительных клапанов (предохранительных сбросных клапанов в случае реакторов BWR) в условиях нормальной эксплуатации и во время ожидаемых при эксплуатации событий. Следует минимизировать выбросы теплоносителя первого контура, а также его попадание в защитную оболочку (контейнмент).

5.25. Уставки и характеристики систем, предназначенных для управления условиями эксплуатации, следует определять на основе реалистичной реакции станции на такие условия.

5.26. Систему регулирования давления в системе теплоносителя реактора следует проектировать так, чтобы поддерживалось давление в пределах, установленных для обеспечения охлаждения топлива в эксплуатационных состояниях (пока среда в компенсаторе давления (объема) остается двухфазной).

5.27. Следует предусматривать, чтобы регулирование давления в системе теплоносителя реактора и во втором контуре обеспечивалось и в случае потери внеплощадочного электроснабжения.

5.28. В пунктах 5.29–5.41 приведены рекомендации по выполнению требования 48, изложенного в SSR-2/1 (Rev. 1) [1], в отношении реакторов PWR, BWR и PHWR; они также применимы для системы защиты от превышения давления во втором контуре реакторов PWR и PHWR.

5.29. Следует обеспечивать, чтобы в состав устройств защиты от превышения давления входили резервные предохранительные клапаны (предохранительные сбросные клапаны в случае реакторов BWR). Во избежание ненужного сброса теплоносителя следует предусматривать, чтобы уставки таких предохранительных клапанов (предохранительных сбросных клапанов в случае реакторов BWR) обеспечивали их последовательное открытие при различных уровнях давления.

5.30. Для сохранения конструктивной целостности границы (барьера) давления контура теплоносителя реактора в проекте следует предусматривать систему защиты от превышения давления, которая совместно с системой останова реактора будет обеспечивать поддержание давления ниже проектных пределов, установленных для различных категорий постулируемых исходных событий.

5.31. В проекте реакторов PWR и PHWR для сохранения конструктивной целостности границы (барьера) давления на стороне второго контура следует использовать систему защиты от превышения давления, которая совместно с системой останова реактора будет обеспечивать поддержание давления ниже проектных пределов, установленных для различных категорий постулируемых исходных событий.

5.32. При проектировании следует обеспечивать, чтобы пропускная способность системы защиты от превышения давления соответствовала предельным значениям давления, которые установлены в апробированных отраслевых нормах и правилах, и эту систему следует проектировать в соответствии с правилами проектирования, предусмотренными в этих нормах и правилах. Как правило, используется подход, в котором:

- а) системы, не классифицированные по безопасности, при проведении анализа не рассматриваются, за исключением случаев, когда работа таких систем может усугубить последствия исходного события;

- b) в отношении соблюдаемых критериев принимается допущение о том, что классифицированные по безопасности системы будут работать в менее благоприятных условиях;
- c) пропускная способность предохранительных клапанов определяется на основе применяемых стандартов на проектирование;
- d) общая пропускная способность, применяемая в анализе, рассчитывается исходя из последовательного открытия предохранительных клапанов и несрабатывания на открытие как минимум одного предохранительного клапана (или отказа нескольких предохранительных клапанов в системах с большим их количеством). Этот независимый отказ не следует учитывать при анализе переходных процессов, связанных с превышением давления, вызванным множественными отказами;
- e) одновременная потеря внеплощадочного электроснабжения учитывается, если она может усугубить последствия исходного события.

5.33. При проектировании устройств защиты от превышения давления следует сводить к минимуму последствия гидравлических ударов.

5.34. Следует предусматривать электроснабжение оборудования, обеспечивающего целостность границы (барьера) давления контура теплоносителя реактора и/или целостность границы (барьера) давления второго контура с использованием источника бесперебойного питания.

5.35. На сбросном трубопроводе предохранительного клапана (предохранительного сбросного клапана в случае реакторов BWR), а также на трубопроводе между предохранительным клапаном (предохранительным сбросным клапаном в случае реакторов BWR) и защищаемым элементом не следует устанавливать отсечные клапаны. Если предохранительный клапан используется для регулирования давления, надежность его закрытия следует обеспечивать с помощью установки отсечного клапана на сбросном трубопроводе.

5.36. Следует предусматривать оснащение предохранительных клапанов, предохранительных сбросных клапанов и сбросных клапанов индикаторами положения, независимыми от оборудования системы регулирования.

5.37. Следует обеспечивать мониторинг выпускных отверстий паросбросных клапанов с целью выявления течей.

5.38. При размещении предохранительных клапанов, их пилотных (импульсных) клапанов и соединительных трубопроводов должное внимание следует уделять компоновочным решениям, исключающим образование скопления неконденсирующихся газов и конденсата и предотвращение таким образом негативных последствий образования таких скоплений.

5.39. При проектировании клапанов, используемых для защиты от превышения давления, а также связанных с ними трубопроводов, следует обеспечивать возможность сброса через них пара, пароводяных смесей и воды.

5.40. Следует исключить возможность ложного срабатывания на открытие предохранительного клапана (или предохранительного сбросного клапана в случае реакторов BWR), а также следует обеспечить, чтобы частота таких ложных срабатываний на открытие не превышала частоту, установленную для аварий с потерей теплоносителя.

5.41. Следует предусматривать, чтобы элементы, которые могут повышать давление в первом контуре, например, подогреватели компенсатора давления (объема) или насосы подпитки в случае реакторов PWR и PHWR, были оснащены системой, останавливающей работу элемента, чтобы предотвратить непреднамеренное повышение давления.

5.42. В пункте 5.43 приведены рекомендации по выполнению требования 20, изложенного в SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

5.43. Кроме того, систему защиты от превышения давления в системе теплоносителя реактора следует проектировать с учетом необходимости сохранения целостности границы (барьера) давления контура теплоносителя реактора при возникновении постулируемых последовательностей событий, включающих множественные отказы. Как правило, следует предусматривать, чтобы конструкция системы защиты от превышения давления ограничивала рост давления при возникновении ожидаемого переходного процесса без аварийного останова (если это относится к данному конкретному случаю).

## ИЗОЛЯЦИЯ ГРАНИЦЫ (БАРЬЕРА) ДАВЛЕНИЯ КОНТУРА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ РЕАКТОРА

5.44. В состав границы (барьера) давления контура теплоносителя реактора входят удерживающие давление элементы системы теплоносителя реактора, которые не могут быть изолированы от реактора. В пределах границы (барьера) давления теплоносителя реактора находятся:

- a) наиболее удаленный изолирующий (отсечной) клапан защитной оболочки (контейнмента) на трубе системы теплоносителя реактора, проходящей через первичную защитную оболочку реактора (если это относится к данному конкретному случаю);
- b) предохранительные клапаны системы теплоносителя реактора (предохранительные сбросные клапаны в случае реакторов BWR);
- c) второй из двух изолирующих (отсечных) клапанов трубопроводов, подсоединенных к системе теплоносителя реакторной установки, при отказе которых образуется течь, не компенсируемая за счет системы нормальной подпитки водой;
- d) первый изолирующий (отсечной) клапан трубопроводов, подсоединенных к системе теплоносителя реакторной установки, при отказе которых образуется течь, не компенсируемая за счет системы нормальной подпитки водой (если это относится к данному конкретному случаю);
- e) второй изолирующий (отсечной) клапан со стороны реакторной установки на главном паропроводе и трубопроводе питательной воды (реакторы BWR).

5.45. В пунктах 5.46–5.53 приведены рекомендации по выполнению пункта 6.13, изложенного в SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

5.46. При проектировании изолирующих устройств между границей (барьером) давления контура теплоносителя реактора и подсоединенными трубопроводами или элементами, при отказе которых образуется течь, не компенсируемая за счет системы нормальной подпитки водой, следует обеспечивать их быстрое и надежное закрытие для ограничения объемов потери теплоносителя. Следует обеспечивать, чтобы потеря теплоносителя, вызванная таким отказом, не приводила к необходимости задействования системы аварийного охлаждения активной зоны.

5.47. Следует учитывать характеристики и значимость изолирующего устройства, а также обеспечивать необходимую надежность. Следует

предусматривать, чтобы изолирующие устройства находились либо в закрытом положении (штатное положение), либо при необходимости закрывались автоматически, и при этом не требовалось внеплощадочное электроснабжение. Следует обеспечивать, чтобы время срабатывания и скорость закрытия соответствовали критериям приемлемости (приемочным критериям), установленным для постулируемых исходных событий. В частности, для сохранения полной эффективности системы аварийного охлаждения активной зоны следует обеспечивать своевременную автоматическую изоляцию всех систем, связанных с границей (барьером) давления контура теплоносителя реактора, за исключением случаев, когда эти системы необходимы для обеспечения соблюдения критериев, применяемых в случае аварии с потерей теплоносителя.

5.48. На случай, когда потеря теплоносителя вследствие разрыва присоединенной трубы не может быть компенсирована за счет системы нормальной подпитки водой, изоляцию границы (барьера) давления контура теплоносителя реактора следует проектировать с обеспечением соблюдения критерия единичного отказа.

5.49. Следует предусматривать обеспечение изоляции границы (барьера) давления контура теплоносителя реактора даже в условиях потери внеплощадочного электроснабжения предпочтительно с использованием источника бесперебойного питания.

5.50. При проектировании изолирующих (отсечных) клапанов границы (барьера) давления теплоносителя реактора следует предусматривать возврат этих клапанов в безопасное положение при потере электроснабжения или прекращении подачи сжатого воздуха.

5.51. В подсоединенных системах, работающих при более низких давлениях, следует предусматривать надлежащие средства для предотвращения превышения давления в таких системах и возможных аварий с потерей теплоносителя за пределами защитной оболочки (контейнента).

5.52. Изолирующие устройства следует проектировать и изготавливать в соответствии с проектными требованиями, предъявляемыми к элементам системы теплоносителя реактора.

5.53. Следует предусматривать проектные решения, обеспечивающие проведение тестирования на герметичность изолирующих (отсечных) клапанов границы (барьера) давления контура теплоносителя реактора.

## ПОСТУЛИРУЕМЫЕ ИСХОДНЫЕ СОБЫТИЯ

5.54. На основе оцененной частоты возникновения следует определить и установить категорию отказа конструкций, систем или элементов, а также ошибок оператора, последствия которых могут изменить условия работы системы теплоносителя реактора или условия нагрузки, предусматриваемые для нормальной эксплуатации. Типичными примерами являются:

- a) потеря внеплощадочного электроснабжения;
- b) неисправности в системе регулирования давления, связанные с:
  - уровнем воды в корпусе реактора;
  - расходом в системе рециркуляции теплоносителя реактора;
  - нагревом питательной воды (реакторы BWR);
  - уровнем в компенсаторе давления (объема) и парогенераторе (реакторы PWR и PHWR).
- c) потеря вакуума в главном конденсаторе;
- d) разрывы труб;
- e) ложное открытие предохранительного клапана (предохранительного сбросного клапана в случае реакторов BWR);
- f) утрата принудительной циркуляции теплоносителя;
- g) отказ насоса теплоносителя реактора;
- h) ввод положительной реактивности в активную зону.

## ВНУТРЕННИЕ ОПАСНОСТИ

5.55. При компоновке трубопроводов системы теплоносителя реактора, а также расположенных на них устройств локальной защиты, например, устройств ограничения биения трубопроводов и экранов, следует обеспечивать исключение возникновения «эффекта домино» в случае разрыва высокоэнергетической трубы. Типичными примерами являются решения, исключающие распространение разрыва:

- a) в одной петле теплоносителя реактора на соседнюю петлю системы теплоносителя реактора, а также на главный паропровод или трубопровод питательной воды (реакторы типа PWR и PHWR);
- b) в главном паропроводе или трубопроводе питательной воды на соседние паропроводы или трубопроводы питательной воды, а также на петли контура теплоносителя реактора;
- c) трубы компенсатора давления (объема) на соседние трубы компенсатора (реакторы PWR и PHWR).

5.56. В целях защиты контрольно-измерительной аппаратуры и обеспечения срабатывания необходимой автоматики при управлении авариями следует применять отказоустойчивые контрольно-измерительные приборы и компоновочные решения.

## ВНЕШНИЕ ОПАСНОСТИ

5.57. Следует обеспечивать, чтобы целостность границы (барьера) давления контура теплоносителя реактора сохранялась при воздействии сейсмических нагрузок уровня SL-2.

5.58. Следует предусматривать надежную изоляцию элементов системы теплоносителя реактора, не входящих в состав границы (барьера) давления контура теплоносителя реактора и не классифицированных по сейсмостойкости, от границы давления (барьера) контура теплоносителя реактора с помощью изолирующих устройств, классифицированных по сейсмостойкости и квалифицированных для работы в условиях сейсмических нагрузок уровня SL-2.

5.59. Следует обеспечивать, чтобы элементы системы теплоносителя реактора, необходимые для перевода реактора в состояние безопасного останова, были классифицированы по сейсмостойкости для сохранения своей целостности, а также квалифицированы для работы в условиях воздействия сейсмических нагрузок уровня SL-2.

5.60. При проектировании элементов системы теплоносителя реактора, необходимых для перевода реактора в состояние безопасного останова, следует предусматривать сохранение ими своей целостности и работоспособности в случае внешних опасностей, вызывающих высокоэнергетические воздействия на защитную оболочку (контейнмент).

## КОМПОНОВКА

5.61. Следует предусматривать, чтобы компоновка и расположение труб и оборудования способствовали установлению естественной циркуляции, обеспечивающей отвод остаточного тепловыделения из активной зоны.

5.62. Следует обеспечивать, чтобы компоновка и расположение трубопроводом и оборудования минимизировали вибрацию, вызываемую

потоком теплоносителя, коррозионно-эрозионные повреждения, эффекты старения, акустическое возбуждение, тепловую усталость и образование скопления радиоактивных материалов. Кроме того, следует обеспечивать, чтобы компоновка труб исключала образование скопления горючих газов.

5.63. Следует предусматривать, чтобы компоновка и расположение труб и оборудования обеспечивали их достаточную доступность для проведения периодических испытаний (тестирования), технического обслуживания и инспекционного контроля, включая техническое обслуживание и инспекционный контроль сварных швов и опор труб.

## ПРОЕКТНЫЕ ПРЕДЕЛЫ

5.64. Для элементов системы теплоносителя реактора следует устанавливать проектные пределы, превышение которых недопустимо ни в каких состояниях станции. Параметры, по которым следует устанавливать проектные пределы, включают:

- a) давление и температуру;
- b) максимальную скорость охлаждения и максимальную скорость разогрева в условиях нормальной эксплуатации;
- c) максимальный перепад температур ( $\Delta T_{\max}$ ) между горячей петлей и компенсатором давления (объема) (реакторы PWR);
- d) максимальную перепад давления в первом и во втором контурах ( $\Delta P_{\max}$ ) (реакторы PWR);
- e) максимальную скорость течи в системе теплоносителя реактора;
- f) максимальную скорость течи из системы теплоносителя реактора в парогенератор (реакторы PWR и PHWR);
- g) пределы хрупкого разрушения корпуса реактора (реакторы PWR);
- h) параметры конкретных конструктивных элементов (например,  $\Delta P$  для уплотнений насосов системы теплоносителя реакторной установки и Т-образных уплотнений).

Кроме того, в соответствующих случаях следует учитывать рекомендации, содержащиеся в NS-G-2.2 [16].

## КЛАССИФИКАЦИЯ ПО БЕЗОПАСНОСТИ

5.65. Следует предусматривать, чтобы конструкционные элементы, входящие в состав границы (барьера) давления контура теплоносителя реактора, были классифицированы по безопасности, а также обеспечивать, чтобы их проектирование и изготовление выполнялось в соответствии с самыми высокими стандартами, используемыми в атомной отрасли (например, [24, 25] и аналогичными нормами).

5.66. Другие элементы следует классифицировать с должным учетом последствий их отказа с точки зрения как выполнения функции безопасности, так и предотвращения радиоактивного выброса в соответствии с рекомендациями, изложенными в SSG-30 [15] (см. [26], где приводятся дополнительные руководящие материалы).

## КВАЛИФИКАЦИЯ ПО УСЛОВИЯМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

5.67. Следует обеспечивать, чтобы элементы системы теплоносителя реактора были спроектированы и квалифицированы для работы в самых суровых условиях окружающей среды, которые могут быть внутри защитной оболочки (контейнента) до или при возникновении аварийных условий без значительной деградации топлива, на период до истечения срока их службы. Как правило, это относится к:

- a) элементам границы (барьера) давления контура теплоносителя реактора (в части целостности);
- b) изолирующим устройствам границы (барьера) давления контура теплоносителя реактора (в части работоспособности);
- c) элементам защиты от превышения давления (в части работоспособности);
- d) элементам системы теплоносителя реактора, предназначенным для защиты корпуса реактора от хрупкого разрушения (в части работоспособности);
- e) элементам системы теплоносителя реактора, необходимым для перевода реактора в состояние безопасного останова (в части работоспособности);
- f) элементам системы теплоносителя реактора, предназначенным для сброса давления в этой системе, что позволяет использовать насосы низкого давления в аварийных условиях;

- г) элементам системы теплоносителя реактора, предназначенным для сброса давления в этой системе в целях предотвращения непосредственного воздействия на защитную оболочку (контеймент) прямых тепловых нагрузок, вызванных разрушением корпуса реактора под высоким давлением (в части работоспособности).

5.68. При выборе материалов, используемых для прокладок и уплотнений, следует руководствоваться их пригодностью с точки зрения сохранения ими работоспособности во всех эксплуатационных состояниях и в аварийных условиях.

## ИСПЫТАНИЯ ДАВЛЕНИЕМ

5.69. Испытания гидростатическим давлением системы теплоносителя реактора следует проводить на этапе ввода в эксплуатацию и периодически повторять с возможным использованием других критериев. Эти испытания следует выполнять с целью:

- а) подтверждения отсутствия остаточной деформации при воздействии на конструкцию давления, близкого к пределу упругости;
- б) выявления течей, которые не были обнаружены ранее.

Эксплуатационный режим и уровень давления, при которых проводятся испытания давлением (опрессовка), как правило, определяются национальными регулирующими положениями и отражены в отраслевых нормах, правилах и стандартах.

5.70. При проведении испытаний давлением (опрессовки) следует не допускать повреждения оборудования системы теплоносителя реактора.

## ВЕНТИЛИРОВАНИЕ (ГАЗОУДАЛЕНИЕ)

### **Реакторы с водой под давлением (PWR)**

5.71. В целях предотвращения нарушения естественной циркуляции теплоносителя реактора следует предусматривать установку клапанов с дистанционным управлением для сброса неконденсирующихся газов в аварийных условиях.

5.72. Следует предусматривать вентилирование (газоудаление) для системы теплоносителя реактора в случае потери внеплощадочного электроснабжения.

5.73. Следует обеспечивать, чтобы производительность вентилирования (газоудаления) соответствовала производительности системы подпитки.

### **Кипящие реакторы (BWR)**

5.74. Для обеспечения надлежащего реагирования на изменения уровня воды в корпусе реактора в условиях останова и пуска, следует предусматривать клапаны с возможностью дистанционного управления для вентилирования крышки корпуса реактора.

5.75. Следует обеспечивать возможность вентилирования (сдувки) для крышки корпуса реактора и труб при нормальной эксплуатации с целью предотвращения образования скопления неконденсирующихся газов.

5.76. Следует обеспечивать эффективность вентилирования (газоудаления) в условиях единичного отказа.

5.77. Следует предусматривать, чтобы элементы системы теплоносителя реактора, необходимые для вентилирования (газоудаления), были квалифицированы для работы в аварийных условиях, соответствующих их проектному назначению.

5.78. Следует предусматривать возможность управления вентилированием (газоудалением) из помещения главного щита управления.

### **Реакторы с тяжелой водой под давлением (PHWR)**

5.79. Следует применять проектные решения, обеспечивающие ограничение концентрации неконденсирующихся газов в теплоносителе первого контура в режиме нормальной эксплуатации.

## ОСОБЫЕ ВОПРОСЫ, УЧИТЫВАЕМЫЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

### Корпус реактора

5.80. Применительно к корпусу реактора в число учитываемых при проектировании вопросов следует включать указанные ниже положения:

- a) следует сводить к минимуму количество сварных швов в корпусе реактора, в частности, следует оценивать необходимость наличия сварных швов в активной зоне;
- b) для корпуса реактора следует устанавливать максимально допустимые значения давления, а также максимально допустимые скорости его разогрева и расхолаживания в зависимости от температуры; следует учитывать изменения температуры перехода из хрупкого в пластическое состояние материала корпуса, прилегающего к активной зоне (в «области бандажа»), в результате нейтронного облучения и теплового охрупчивания;
- c) при проектировании корпуса реактора следует обеспечивать, чтобы он выдерживал все циклические нагрузки, ожидаемые в течение всего жизненного цикла станции; в проектной документации следует предусматривать четкие технические условия в отношении нагрузок, применяемых при определении кумулятивного коэффициента использования;
- d) посредством подбора материалов, проектирования конструкций, применения соответствующих методов сварки и термической обработки следует обеспечивать сохранение достаточно пластичного состояния материалов корпуса реактора в течение всего жизненного цикла станции; пластичность стенок корпуса реактора, окружающих активную зону, следует обеспечивать за счет ограничения максимальной мощности нейтронного потока и использования в корпусе и сварных швах металла, химический состав которого рассчитан на удержание радиационного охрупчивания на допустимом уровне;
- e) при проектировании корпуса следует обеспечивать, чтобы он был способен выдерживать тепловые удары под давлением без потери целостности;
- f) следует сводить к минимуму циклические тепловые нагрузки на патрубках и проходках корпуса реактора, включая использование в соответствующем случае термических рукавов;
- g) для защиты от коррозии внутренних участков корпуса реактора следует применять противокоррозионное покрытие.

5.81. Если в корпусе реактора предполагается использовать материалы с улучшенными свойствами, то образцы этих материалов следует облучать потоком быстрых нейтронов с высоким коэффициентом опережения по сравнению с внутренней поверхностью стенки корпуса реактора, а также подвергать воздействию условий среды, возникающих в корпусе реактора. Образцы следует периодически исследовать в течение всего жизненного цикла станции с целью мониторинга изменений их механических свойств (в частности, пластичности и ударной вязкости), с тем чтобы иметь возможность прогнозировать поведение материала с достаточным запасом времени для осуществления при необходимости корректирующих мер.

5.82. В проектах, предусматривающих реализацию концепции внутрикорпусного удержания расплава, стойкость корпуса реактора к воздействию длительных нагрузок, вызванных такими тяжелыми условиями, следует доказательно подтвердить с высокой степенью уверенности.

### **Внутрикорпусные устройства реактора (реакторы PWR и BWR)**

5.83. Следует предусматривать возможность извлечения внутрикорпусных устройств, с тем чтобы облегчить их техническое обслуживание и ремонт, замену и проведение инспекционного контроля в процессе эксплуатации. В соответствующих случаях следует рассматривать возможность применения болтовых соединений вместо сварных соединений.

5.84. Внутрикорпусные устройства следует проектировать так, чтобы они выдерживали нагрузки, связанные с эксплуатационными состояниями и аварийными условиями без значительной деградации топлива, и сохраняли функции опорных конструкций активной зоны и охлаждения тепловыделяющих элементов, а также ввода регулирующих стержней в активную зону для останова реактора.

5.85. При проектировании внутрикорпусных устройств следует предусматривать выполнение ими функций:

- a) обеспечения надлежащего направления потока теплоносителя через активную зону и топливо;
- b) предотвращения неприемлемых вибраций, создаваемых потоком теплоносителя;
- c) минимизации подверженности коррозионному растрескиванию под напряжением;

- d) обеспечения способности выдерживать асимметричные нагрузки истечения, возникающие при разрывах трубопроводов;
- e) обеспечения непревышения проектных пределов для топлива при нормальной эксплуатации или в случае ожидаемых при эксплуатации событий.

### **Узлы топливных каналов (реакторы PHWR)**

5.86. При проектировании топливных каналов следует учитывать необходимость создания границы (барьера) давления с низким поглощением нейтронов для обеспечения опоры и для фиксации тепловыделяющих пучков. Следует предусматривать, чтобы топливные каналы обеспечивали возможность формирования управляемого потока теплоносителя вокруг топливных пучков и через них.

5.87. Узлы топливных каналов следует проектировать так, чтобы они отвечали всем предъявляемым к ним требованиям на протяжении всего срока их службы.

5.88. Следует предусматривать, чтобы конструкция топливного канала обеспечивала непрерывный поток газа в кольцевом пространстве между напорной трубой и трубой каландра для обнаружения течи перед разрывом.

5.89. Все материалы, используемые в узлах топливных каналов, следует подбирать так, чтобы они были способны выдерживать длительное воздействие радиоактивного облучения, тяжелой воды высокой степени очистки и межтрубного газа (газа между напорными трубами и трубами каландра).

5.90. В качестве проектных условий для топливных каналов следует принимать наиболее неблагоприятное сочетание температуры и давления в любом месте по длине напорной трубы.

5.91. Топливные каналы следует проектировать и изготавливать в соответствии с апробированными нормами, правилами и стандартами с учетом имеющегося опыта, в том числе опыта эксплуатации.

5.92. Следует проводить испытания прочности на отрыв прототипных соединений, изготовленных из стального проката, используемых в системе теплоносителя реактора. При проведении испытаний следует

предусматривать, чтобы осевая нагрузка на отрыв была не менее чем в три раза выше проектной общей осевой нагрузки при проектной температуре.

5.93. Топливные каналы следует проектировать так, чтобы они выдерживали все циклические нагрузки, ожидаемые в течение всего жизненного цикла станции. В проектную документацию следует включать четкие спецификации нагрузок, которые требуются для определения кумулятивного коэффициента использования.

5.94. Следует ограничивать, насколько это возможно, количество сварных швов, проведение инспекционного контроля которых в процессе эксплуатации будет не возможно, а также проводить анализ последствий разрушения таких швов.

5.95. При проектировании следует предусматривать средства, позволяющие надежно обнаруживать дефекты топлива в активной зоне в режиме нормальной эксплуатации.

#### **Реакторные насосы теплоносителя (реакторы PWR и PHWR) и рециркуляционные насосы (реакторы BWR)**

5.96. Насосы теплоносителя реактора следует проектировать так, чтобы обеспечивалось соблюдение должных параметров безопасности, к которым относятся:

- a) производительность насосов, включая напорные характеристики, параметры снижения расхода при выбеге, а также производительность насосов при работе в однофазной и двухфазной средах;
- b) эксплуатационные параметры насосов (например, скорость, расход и напор);
- c) эффективный положительный подпор на всасывании, требующийся для предотвращения кавитации;
- d) конструктивное исполнение и эксплуатационные характеристики уплотнений насосов (включая в соответствующих случаях температурные ограничения для уплотнений);
- e) проектные решения, обеспечивающие мониторинг вибрации.

5.97. При проектировании насосов системы теплоносителя реактора в целях исключения превышения проектных пределов для топлива в эксплуатационных состояниях следует предусматривать

обеспечение достаточного расхода теплоносителя с соответствующими гидравлическими параметрами.

5.98. При проектировании насосов системы теплоносителя реактора в целях исключения превышения конструктивных пределов для топлива и оборудования системы теплоносителя реактора (включая внутрикорпусные устройства) в эксплуатационных состояниях и в случае аварий без значительной деградации топлива следует предусматривать обеспечение достаточного расхода теплоносителя с соответствующими гидравлическими параметрами.

5.99. Во избежание возникновения в системе теплоносителя реактора нежелательных теплогидравлических условий в части целостности топлива следует обеспечивать, чтобы насосы системы теплоносителя реактора имели надлежащие характеристики снижения расхода при выбеге в случае отключения насоса во время ожидаемых при эксплуатации событий и в аварийных условиях без значительной деградации топлива.

5.100. При проектировании насосов системы теплоносителя реактора следует обеспечивать, чтобы негативно воздействующие теплогидравлические условия в системе теплоносителя реактора, а также неисправности насосов не приводили к образованию летящих предметов (объектов). В качестве альтернативы следует предусматривать решения, обеспечивающие защиту важных для безопасности узлов (элементов) от любых таких летящих предметов.

5.101. Следует предусматривать мониторинг функционирования прокладок и подшипников, а также автоматическое отключение насосов системы теплоносителя реактора в целях предотвращения работы в условиях чрезмерной вибрации, которая может привести к выходу из строя вала.

5.102. Течи через уплотнения насосов теплоносителя реактора следует контролировать путем обеспечения должного охлаждения системы уплотнений во всех состояниях станции без значительной деградации топлива. Следует обеспечивать компенсацию течей через уплотнения в режиме нормальной эксплуатации; в случае состояний станции, в которых компенсация течи не возможна, предпочтительным решением является изоляция течи через уплотнение. Следует предусматривать автоматическое отключение насоса теплоносителя реактора в целях предотвращения дальнейшего повреждения системы уплотнения в случае невозможности поддержания эксплуатационных параметров уплотнения.

## **Сбросные и предохранительные клапаны (реакторы PWR и PHWR) или предохранительные сбросные клапаны (реакторы BWR)**

5.103. Если для срабатывания сбросных (разгрузочных) клапанов требуется сжатый воздух, следует использовать специально предназначенные для этих целей пневмоаккумуляторы, обеспечивающие минимально установленное количество срабатываний на открытие и закрытие. Для каждого клапана, срабатывание которого на открытие осуществляется с помощью пневмоаккумулятора, следует устанавливать количество срабатываний без подзарядки пневмоаккумулятора.

5.104. Если предохранительный клапан используется для регулирования давления, надежность его закрытия следует обеспечивать с помощью установки на сбросном трубопроводе отсечного клапана.

5.105. Если защита от превышения давления обеспечивается предохранительными клапанами с пилотным (импульсным) управлением (реакторы BWR и PWR), не следует устанавливать отсечные клапаны на пилотной линии, предназначенной для закрытия предохранительного клапана. Если из этого правила делается исключение для облегчения проведения испытаний, технического обслуживания и ремонта или для предотвращения заклинивания предохранительного клапана в открытом положении, то следует принимать меры по надежному предотвращению непреднамеренного закрытия отсечного клапана.

## **Парогенераторы (реакторы PWR и PHWR)**

5.106. Парогенераторные трубы входят в состав границы (барьера) давления контура теплоносителя реактора, и поэтому их следует проектировать в соответствии с рекомендациями, изложенными в пунктах 3.44, 3.107–3.115 и пунктах 5.4–5.16.

5.107. Парогенераторные трубы и внутренние конструкции парогенераторов следует проектировать с расчетом на максимальные напряжения и самые тяжелые усталостные нагрузки в ожидаемых при эксплуатации состояниях и в аварийных условиях без значительной деградации топлива (например, проектировать с учетом сохранения работоспособности под нагрузками, возникающими в случае аварии с потерей теплоносителя и разрыве главного паропровода).

5.108. Схему потока теплоносителя в парогенераторах следует оптимизировать так, чтобы обеспечивалось предотвращение возникновения застойных зон (во избежание образования скопления отложений) и недопустимой вибрации труб, вызываемой потоком теплоносителя.

5.109. В конструкции парогенераторов следует предусматривать надлежащую систему обнаружения течей в трубах и сигнализации об этих течах.

5.110. Следует предусматривать проектные решения, предотвращающие переполнение парогенераторов.

5.111. Следует учитывать нагрузки, возникающие вследствие гидравлического удара, переполнения и тепловой и/или гидравлической стратификации, для режимов эксплуатации, в которых они могут возникнуть.

5.112. Следует предусматривать проектные решения по сдвиге для контроля и удаления твердых частиц (шлама), которые могут скапливаться в застойных зонах.

5.113. В проекте следует предусматривать решения, обеспечивающие возможность отбора проб воды и пара в соответствующих местах со стороны второго контура.

5.114. При проектировании следует обеспечивать возможность проведения инспекционного контроля парогенераторных труб и сепараторов пара первого и второго контуров по всей их длине. Следует предусматривать, чтобы оборудование и процедуры, применяемые для исследования труб, позволяли обнаруживать наличие и определять местонахождение значительных дефектов или деграционных процессов.

5.115. Кроме того, в проекте следует предусматривать:

- a) контроль водородного показателя рН и концентрации кислорода;
- b) ограничение концентрации загрязнителей и примесей в питательной воде и во втором контуре парогенератора;
- c) введение в питательную воду химических присадок;
- d) мониторинг электропроводности и мониторинг радиоактивного загрязнения проб текучих сред.

5.116. Следует устанавливать допуски на засорение и закупорку труб, а также на максимально допустимый уровень течи в трубах.

5.117. Следует предусматривать проектные решения, обеспечивающие предотвращение фреттинг-коррозии в трубах.

5.118. Следует предусматривать проектные решения, обеспечивающие проведение пробоотбора в парогенераторе.

5.119. Следует обеспечивать, чтобы материал парогенераторных труб, материал трубной доски и сварочные материалы выдерживали коррозионное и эрозийное воздействие теплоносителя первого или второго контура (в соответствующем случае), включая коррозию под шламом.

5.120. Следует предпринять меры по предотвращению электрохимического взаимодействия между материалами парогенераторных труб и материалами опор труб.

### **Система труб**

5.121. Следует предусматривать, чтобы пространственно-компоновочные решения системы труб ограничивали возможность образования скопления неконденсирующихся газов.

5.122. Следует обеспечивать вентилирование (газоудаление) и дренаж для системы труб.

5.123. Проектирование опор системы труб следует выполнять в соответствии с положениями стандартов на проектирование системы труб. Оценку напряжений в трубах и их арматуры следует выполнять в соответствии с применяемыми нормами, правилами и стандартами.

5.124. Для ограничения скорости потери теплоносителя при разрыве главного паропровода внутри или снаружи защитной оболочки (контейнмента) следует предусматривать ограничители расхода в составе главных паропроводов у реакторов BWR (или на выходе из парогенератора в случае реакторов PWR и PHWR). Применительно к реакторам BWR следует обеспечивать, чтобы перед закрытием главных паровых изолирующих (отсечных) клапанов активная зона была полностью покрыта водой.

## **Концепция течи перед разрывом или исключения разрыва труб**

5.125. В случае применения для труб концепции течи перед разрывом или исключения (предотвращения) разрыва следует устанавливать особые требования, выполнение которых необходимо обеспечивать при проектировании, изготовлении и эксплуатации.

5.126. Следует обеспечивать, чтобы системы обнаружения течей функционировали в соответствии с допущениями, применяемыми при применении концепции течи перед разрывом.

5.127. Несмотря на очень низкую вероятность разрушения труб, следует проводить анализ последствий разрыва с двухсторонним истечением теплоносителя с использованием соответствующих правил в отношении:

- a) производительности системы охлаждения активной зоны;
- b) повышения давления внутри первичной защитной оболочки реактора;
- c) квалификации оборудования по условиям окружающей среды.

## **Система обнаружения течей**

5.128. Следует предусматривать проектные решения, обеспечивающие обнаружение любой течи теплоносителя реактора, а также определение, насколько это практически возможно, местонахождения течи. Кроме того, следует предусматривать проектные решения, обеспечивающие количественное определение объема жидкости, вытекшей из системы теплоносителя реактора, а также ее сбор. Эти решения следует надлежащим образом дополнять индикаторами и средствами сигнализации в помещении главного щита управления.

## **Изоляционные материалы**

5.129. При выборе изоляционных материалов, используемых внутри первичной защитной оболочки реактора, следует предусматривать необходимость предотвращения засорения фильтров грубой и тонкой очистки приемка в случае разрыва высокоэнергетической трубы. Следует использовать отражающую металлическую изоляцию, когда это решение является разумно достижимым.

5.130. В проектах, в которых используется концепция внутрикорпусного удержания и внекорпусное охлаждение, при проектировании изоляции корпуса реактора следует предусматривать:

- a) средства, обеспечивающие свободный доступ воды в зону между корпусом реактора и изоляцией, а также предусматривать в конструкции соответствующих подводов воды снижение к минимуму перепада давления при осуществлении внекорпусного охлаждения с целью обеспечения поступления воды для охлаждения реактора;
- b) средства, обеспечивающие выход пара, образующегося при контакте воды с корпусом реактора, из зоны вокруг корпуса реактора;
- c) обеспечение надежного пути для прохождения потоков воды и пара посредством конструктивного решения опорного каркаса изоляции и изоляционных панелей.

## **6. ОСОБЫЕ ВОПРОСЫ, УЧИТЫВАЕМЫЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СВЯЗАННЫХ С КОНТУРОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ СИСТЕМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ РЕАКТОРОВ PWR**

### **СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗАПАСА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ И РЕАКТИВНОСТИ АКТИВНОЙ ЗОНЫ В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СОСТОЯНИЯХ**

6.1. Контроль запасов воды в системе теплоносителя реактора в режиме нормальной эксплуатации осуществляется системой контроля водно-химического режима и объема (теплоносителя). Кроме того, система контроля водно-химического режима и объема (теплоносителя) предназначена для регулирования давления в системе теплоносителя реактора при остановке насосов системы теплоносителя реактора за счет впрыска теплоносителя в компенсатор давления (объема) системы теплоносителя реактора и для регулирования концентрации борной кислоты в теплоносителе первого контура в режимах работы на мощности и останова. Как правило, система контроля водно-химического режима и объема (теплоносителя) выполняет функции:

- a) контроля запаса теплоносителя реактора;

- b) контроля давления в системе теплоносителя реактора в режиме останова, когда насосы теплоносителя реактора являются функционально не доступными;
- c) контроля реактивности активной зоны;
- d) подачи запирающей воды на насосы теплоносителя реактора;
- e) контроля водно-химических параметров теплоносителя реактора;
- f) фильтрации и очистки теплоносителя реактора.

6.2. Эти функции в основном предназначены для работы при нормальной эксплуатации и, как правило, не задействуются во время аварий. Вместе с тем отдельные части системы могут использоваться для обеспечения безопасного останова после возникновения ожидаемых при эксплуатации событий или аварий.

### **Контроль запаса теплоносителя**

6.3. При проектировании системы контроля водно-химического режима и объема (теплоносителя) следует предусматривать реализацию функции отбора теплоносителя при расширении его объема во время разогрева станции и обеспечения подпитки при уменьшении его объема во время охлаждения в режимах разогрева и расхолаживания.

6.4. Систему контроля водно-химического режима и объема (теплоносителя) следует проектировать так, чтобы она обеспечивала подачу подпиточной воды при понижении мощности и реализацию функции компенсации увеличения объема при повышении мощности.

6.5. Следует предусматривать, чтобы во всех режимах нормальной эксплуатации или в случае событий, не требующих срабатывания систем безопасности, система контроля водно-химического режима и объема (теплоносителя) обеспечивала наличие и поддержание запаса теплоносителя реактора, достаточного для охлаждения активной зоны, исключая нарушение проектных пределов для топлива и обеспечивая подачу воды на уплотнения насосов теплоносителя реактора, необходимую для сохранения целостности границы (барьера) давления.

### **Контроль реактивности активной зоны**

6.6. При проектировании системы контроля водно-химического режима и объема (теплоносителя) следует предусматривать реализацию функции обеспечения регулирования концентрации борной кислоты в системе

теплоносителя реактора с целью контроля осевого перекоса активной зоны во время работы на мощности.

6.7. Систему контроля водно-химического режима и объема (теплоносителя) следует проектировать так, чтобы она обеспечивала поддержание необходимой концентрации борной кислоты в системе теплоносителя реактора при проведении операций по перегрузке топлива.

6.8. Следует предусматривать, чтобы система контроля водно-химического режима и объема (теплоносителя) обеспечивала поддержание необходимой концентрации борной кислоты в системе теплоносителя реактора при работе на мощности в течение всего межперегрузочного периода топлива (цикла перегрузки топлива).

6.9. Следует обеспечивать, чтобы система контроля водно-химического режима и объема (теплоносителя) была способна предотвращать или ограничивать неконтролируемое разбавление теплоносителя в системе теплоносителя реактора.

## СИСТЕМЫ ТЕПЛОТВОДА В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СОСТОЯНИЯХ

### **Теплоотвод в режимах работы на мощности и горячего останова**

6.10. Тепло, в том числе остаточное тепло, вырабатываемое в активной зоне в режимах работы на мощности и горячего останова, передается из системы теплоносителя реактора в парогенераторы. Функцию теплоотвода обеспечивают главная система подачи питательной воды и система главных паропроводов. В состав главной системы подачи питательной воды входят главные питательные насосы, регулирующие клапаны и изолирующие (отсечные) клапаны. В некоторых проектах предусматриваются специальные насосы, предназначенные для режимов работы на малой мощности и останова, и они относятся к системе, называемой «системой подачи питательной воды в режимах пуска и останова». Система главных паропроводов включает главные паропроводы, изолирующие (отсечные) клапаны, предохранительные клапаны и клапаны сброса пара в главный конденсатор.

6.11. Главная система подачи питательной воды и система главных паропроводов в первую очередь предназначены для отвода тепла,

выделяемого реактором на полной мощности, однако при этом следует предусматривать, чтобы они также обеспечивали возможность отвода и передачи остаточного тепловыделения конечному поглотителю тепла после останова реактора.

6.12. При проектировании следует предусматривать, чтобы производительность отвода остаточного тепловыделения была достаточной для охлаждения системы теплоносителя реактора в диапазоне от условий горячего останова до значений давления и температуры в первом контуре, совместимых с работой системы отвода остаточного тепловыделения.

6.13. Следует предусматривать, чтобы главная система подачи питательной воды обеспечивала подачу воды на парогенераторы при номинальных температурах, а также контроль уровней в парогенераторах в пределах диапазона, установленного для эксплуатационных состояний.

6.14. Следует обеспечивать, чтобы отказ одного питательного насоса не приводил к аварийному отключению реактора.

6.15. В целях предотвращения переохладения активной зоны следует предусматривать автоматическое прекращение впрыска питательной воды после аварийного отключения реактора.

6.16. Следует предусматривать проектные решения, обеспечивающие надежное предотвращение переполнения парогенераторов.

6.17. Следует предусматривать проектные решения, обеспечивающие надежную изоляцию подвергшегося воздействию парогенератора от других парогенераторов в случае неконтролируемого чрезмерного снижения давления в парогенераторах (например, при разрыве главного паропровода или главного трубопровода питательной воды).

6.18. Следует предусматривать возможность независимой и надежной изоляции каждого парогенератора.

6.19. Для обнаружения негерметичных или разрушенных парогенераторных труб следует предусматривать наличие надлежащих средств мониторинга радиоактивности. Следует обеспечивать, чтобы точность такого мониторинга была достаточной для соблюдения пределов, установленных для радиологических последствий проектных аварий.

6.20. Следует обеспечивать, чтобы герметичность изолирующих (отсечных) клапанов парогенератора была достаточной для соблюдения пределов, установленных для радиологических последствий разрушения парогенераторных труб.

6.21. Следует предусматривать, чтобы система главных паропроводов обеспечивала возможность байпасирования турбины и сброса пара непосредственно в конденсатор в режимах как автоматического, так и ручного управления. Следует обеспечивать, чтобы этот байпас был достаточным для полного отвода нагрузки.

6.22. При проектировании системы главных паропроводов следует обеспечивать, чтобы разрыв одного главного трубопровода не приводил к снижению давления в более чем одном парогенераторе, несмотря на единичный отказ, связанный с изоляцией (отсечением) главного паропровода.

6.23. При прокладке, защите и фиксации главных паропроводов и трубопроводов питательной воды следует предусматривать меры, предотвращающие одновременные разрывы труб (например, разрывы главных паропроводов или трубопроводов питательной воды и разрывы труб первого контура).

6.24. При расчете минимальной производительности теплоотвода следует предусматривать необходимость обеспечения отвода остаточного тепловыделения, несмотря на постулируемый единичный отказ любого конструкционного элемента, требующегося для отвода остаточного тепловыделения.

6.25. Следует обеспечивать возможность отвода остаточного тепловыделения в случае потери внеплощадочного электроснабжения.

6.26. При проектировании систем отвода остаточного тепловыделения в режиме горячего останова следует предусматривать обеспечение их работоспособности при воздействии сейсмических нагрузок уровня SL-2.

### **Режим отвода остаточного тепловыделения**

6.27. В режиме холодного останова в условиях нормальной эксплуатации остаточное тепловыделение от системы теплоносителя реактора передается по цепочке охлаждения системы отвода остаточного тепловыделения. Подключение системы отвода остаточного тепловыделения может

осуществляться после расхолаживания системы теплоносителя реактора парогенераторами. В состав канала системы отвода остаточного тепловыделения входят насос охлаждения при останове и теплообменник с промежуточной системой охлаждения; вода на всасывании поступает из системы теплоносителя реактора и впрыскивается обратно в систему теплоносителя реактора после охлаждения в теплообменнике.

6.28. В пунктах 6.29–6.40 приведены рекомендации по выполнению требования 51, изложенного в SSR-2/1 (Rev. 1) [1]; они дополняют общие рекомендации раздела 3.

6.29. В проекте станции следует предусматривать необходимые системы для отвода остаточного тепловыделения от системы теплоносителя реактора в различных условиях останова (например, в условиях горячего останова, холодного останова и перегрузки топлива).

6.30. Следует предусматривать, чтобы производительность теплоотвода была достаточной для охлаждения системы теплоносителя реактора в диапазоне от условий горячего останова (после остановки реактора) до условий, необходимых для проведения операций по перегрузке топлива.

6.31. При проектировании отвода остаточного тепловыделения следует предусматривать обеспечение регулирования температуры системы теплоносителя реактора и регулируемой скорости охлаждения до условий холодного останова, необходимых для проведения операций по перегрузке топлива, в течение соответствующего периода времени после останова реактора.

6.32. При расчете минимальной производительности теплоотвода следует предусматривать необходимость обеспечения отвода остаточного тепловыделения, несмотря на постулируемый единичный отказ любого конструкционного элемента, требующегося для отвода остаточного тепловыделения.

6.33. Следует обеспечивать сохранение возможности отвода остаточного тепловыделения в случае потери внеплощадочного электроснабжения.

6.34. При проектировании системы отвода остаточного тепловыделения следует предусматривать обеспечение ее работоспособности при воздействии сейсмических нагрузок уровня SL-2.

6.35. Если в проекте предусматривается работа системы отвода и передачи остаточного тепловыделения после проектных аварий, при проектировании этих систем следует обеспечивать выполнение рекомендаций, изложенных в пунктах 3.48, 3.54, 3.58 и 4.41–4.4.

*Особые вопросы, учитываемые при проектировании*

6.36. Максимальную производительность теплоотвода следует проектировать с соблюдением эксплуатационных критериев (например, продолжительности расхолаживания до достижения условий перегрузки топлива) без превышения пределов, установленных для топлива и границы (барьера) давления контура теплоносителя реактора в условиях нормальной эксплуатации.

6.37. Для патрубков системы отвода остаточного тепловыделения следует предусматривать температуру выше минимальной температуры системы теплоносителя реактора, которая может быть достигнута за счет охлаждения через парогенераторы.

6.38. При работе на мощности и в режиме горячего останова система отвода остаточного тепловыделения не работает и изолирована от системы теплоносителя реактора; для предотвращения подключения системы отвода остаточного тепловыделения к системе теплоносителя реактора следует предусматривать соответствующие блокировки или другие проектные решения.

6.39. В случае размещения части системы отвода остаточного тепловыделения за пределами защитной оболочки (контейнента) следует предусматривать надлежащую контрольно-измерительную аппаратуру для обнаружения течей или разрывов в системе, а также проектные решения, обеспечивающие соответствующую изоляцию в целях ограничения выхода радиоактивных выбросов за пределы защитной оболочки (контейнента).

6.40. Следует предусматривать надлежащую контрольно-измерительную аппаратуру и средства изоляции с целью обнаружения утечек в теплообменнике и ограничения поступления воды из первого контура в промежуточную систему охлаждения. Эти проектные решения также следует использовать для ограничения подачи неборированной воды в систему теплоносителя реактора при полном сбросе в ней давления.

## СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ АКТИВНОЙ ЗОНЫ И ОТВОДА ОСТАТОЧНОГО ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЯ В АВАРИЙНЫХ УСЛОВИЯХ (ЗА ИСКЛЮЧЕНИЕМ ЗАПРОЕКТНЫХ УСЛОВИЙ С РАСПЛАВЛЕНИЕМ АКТИВНОЙ ЗОНЫ)

6.41. В пунктах 6.43–6.106 изложены рекомендации по проектированию систем, необходимых для охлаждения активной зоны, отвода остаточного тепловыделения от системы теплоносителя реактора и управления реактивностью активной зоны во всех аварийных условиях, за исключением запроектных условий с расплавлением активной зоны. Рекомендации по проектированию контура передачи остаточного тепла и конечного поглотителя тепла в аварийных условиях приведены в разделе 4 настоящего Руководства по безопасности.

6.42. В пунктах 6.43–6.48 приведены рекомендации по выполнению требований 7, 19 и 29, изложенных в SSR-2/1 (Rev. 1) [1]; они дополняют общие рекомендации раздела 3.

6.43. Требуемое применение разных, независимых и спроектированных в соответствии с принципом неодинаковости (разнообразия) систем зависит от необходимого уровня надежности систем безопасности и от потенциальной уязвимости резервируемых элементов к отказам по общей причине. Независимо от этого в проекте станции следует предусматривать наличие нескольких средств для охлаждения активной зоны, а также для отвода и передачи остаточного тепловыделения.

6.44. Следует обеспечивать, насколько это возможно, независимость систем, предназначенных для охлаждения активной зоны в случае проектных аварий или в запроектных условиях без значительной деградации топлива, от систем, используемых в эксплуатационных условиях, а также от систем, применяемых для охлаждения активной зоны в запроектных условиях с расплавлением активной зоны.

6.45. При проектировании систем, работа которых необходима в случае проектных аварий или в запроектных условиях без значительной деградации топлива, следует обеспечивать соблюдение рекомендаций, изложенных в пунктах 3.33–3.42, которые применяются к системам, предназначенным для смягчения последствий проектных аварий или запроектных условий без значительной деградации топлива в соответствующем случае.

6.46. Следует обеспечивать требующуюся надежность функционирования конкретных средств обеспечения безопасности в запроектных условиях в целях достижения показателя, установленного для суммарной частоты повреждения активной зоны.

6.47. При проектировании систем безопасности следует обеспечивать их соответствие регулирующим (нормативным) критериям, установленным для проектных аварий. Следует обеспечивать также, чтобы функциональные характеристики этих систем отвечали критериям, установленным в правилах проведения детерминированного анализа проектных аварий.

6.48. Следует предусматривать, чтобы функциональные характеристики средств обеспечения безопасности в запроектных условиях были достаточными для предотвращения перерастания аварийных условий без значительной деградации топлива в запроектные условия с расплавлением активной зоны. При проектировании допустимо использовать те же инженерно-технические критерии, что и для проектных аварий, но, как правило, при этом применяются менее консервативные гипотезы и условия. Вместе с тем для обеспечения уверенности в эффективности средств обеспечения безопасности в запроектных условиях и для исключения пороговых эффектов следует определять ключевые параметры и предусматривать проектные решения, учитывающие имеющиеся неопределенности.

### **Охлаждение активной зоны в аварийных условиях**

6.49. Контроль запаса воды в системе теплоносителя реактора в аварийных условиях осуществляется системой аварийного охлаждения активной зоны, и при необходимости эта функция дополняется сбросом давления в системе теплоносителя реактора через второй контур. Кроме того, система аварийного охлаждения активной зоны выполняет некоторые функции, связанные с регулированием реактивности активной зоны. Как правило, в системе аварийного охлаждения активной зоны предусматривается сочетание активных и/или пассивных средств впрыска (например, насосов, труб и клапанов). В состав системы также могут входить теплообменники для отвода остаточного тепловыделения из защитной оболочки реактора. Рекомендации по системе фильтрации приямка приведены в SSG-53 [22].

6.50. Основная функция системы аварийного охлаждения активной зоны заключается в впрыске борированной воды в систему теплоносителя реактора для обеспечения охлаждения активной зоны при уменьшении

запаса воды в системе теплоносителя реактора или в случае потери отвода остаточного тепловыделения через второй контур. Система аварийного охлаждения активной зоны должна обеспечивать переход в управляемое состояние как в случае проектных аварий, так и в запроектных условиях без значительной деградации топлива, например в случае:

- a) аварий с потерей теплоносителя, постулируемых как проектные аварии или запроектные условия;
- b) избыточного неконтролируемого охлаждения системы теплоносителя реактора (при разрывах труб второго контура);
- c) разрушения парогенераторных труб;
- d) полной потери подачи питательной воды при функциональной доступности подпитки/продувки в системе теплоносителя реактора.

6.51. В пунктах 6.52–6.69 приведены рекомендации по выполнению требования 52, изложенного в SSR-2/1 (Rev. 1) [1], в отношении проектных аварий и запроектных условий с потерей теплоносителя первого контура; они дополняют рекомендации раздела 3, относящиеся к системам безопасности или средствам обеспечения безопасности в запроектных условиях.

6.52. Систему аварийного охлаждения активной зоны следует проектировать так, чтобы она обеспечивала охлаждение топлива в случае аварий с потерей теплоносителя в соответствии с критериями, применяемыми при проектировании топлива, оболочки тепловыделяющих элементов и геометрии активной зоны.

6.53. В случае небольшого разрыва трубопровода отвод энергии в месте разрыва может оказаться недостаточным для эффективного охлаждения топлива, и поэтому для достижения необходимой производительности системы охлаждения следует использовать дополнительные системы или оборудование (например, дополнительные возможности отвода остаточного тепловыделения через парогенераторы или разгрузку давления в системе теплоносителя реактора для увеличения скорости впрыска воды).

6.54. При проектировании системы аварийного охлаждения активной зоны следует предусматривать ее достаточную производительность для предотвращения или ограничения обнажения тепловыделяющих сборок в случае разрывов труб первого контура различных размеров и в разных местах; как правило, необходимо предусматривать различные точки впрыска.

6.55. При проектировании системы аварийного охлаждения активной зоны следует учитывать возможное байпасирование объема впрыска мимо активной зоны или его вытекание непосредственно через разрыв.

6.56. При проектировании системы аварийного охлаждения активной зоны следует предусматривать функции восстановления и поддержания необходимого запаса теплоносителя в системе теплоносителя реактора с целью восстановления функции охлаждения топлива.

6.57. Следует предусматривать достаточную концентрацию бора в системе аварийного охлаждения активной зоны для обеспечения перевода активной зоны в подкритическое состояние в случае проектной аварии, вызванной переохлаждением (например, при разрыве паропровода).

6.58. Следует обеспечивать, чтобы объем и скорость впрыска в системе аварийного охлаждения активной зоны исключали кристаллизацию бора в активной зоне.

6.59. В некоторых проектах в системе аварийного охлаждения активной зоны предусматриваются проектные решения, обеспечивающие долговременный отвод остаточного тепловыделения из активной зоны, когда целостность системы теплоносителя реактора не обеспечивается. Эти решения следует рассматривать как часть системы безопасности.

6.60. Систему аварийного охлаждения активной зоны следует проектировать так, чтобы она предотвращала или ограничивала обнажение активной зоны при полной потере отвода остаточного тепловыделения через второй контур с учетом установленной производительности системы продувки теплоносителя реактора.

#### *Особые вопросы, учитываемые при проектировании*

6.61. При проектировании и изготовлении оборудования для поддержания давления в системе аварийного охлаждения активной зоны следует руководствоваться апробированными нормами, правилами и стандартами, широко используемыми в атомной отрасли (например, [24, 25, 27] и аналогичными стандартами). Для каждого конкретного конструкционного элемента следует устанавливать требования с должным учетом двух последствий, которые возникают в результате отказа этого элемента (невыполнение функции безопасности и радиоактивный выброс).

6.62. Следует обеспечивать надежную изоляцию системы аварийного охлаждения активной зоны от системы теплоносителя реактора с помощью двух последовательно установленных изолирующих устройств. Во избежание снижения надежности системы аварийного охлаждения активной зоны эти изолирующие устройства следует проектировать так, чтобы они открывались быстро и без внешнего воздействия (например, путем широкого применения обратных клапанов). Следует обеспечивать, чтобы конструктивное исполнение изоляции системы теплоносителя реактора позволяло проводить периодическое тестирование на герметичность. Кроме того, следует обеспечивать защиту системы аварийного охлаждения активной зоны от превышения давления, вызываемого течами. Для обнаружения течей через изолирующие (отсечные) клапаны и сигнализации о них следует использовать необходимые средства мониторинга (например, давления и температуры).

6.63. Оборудование системы аварийного охлаждения активной зоны следует размещать, насколько это возможно, за пределами защитной оболочки (контейнмента) с целью ограничения тяжести условий окружающей среды, на которые это оборудование должно быть квалифицировано, а также облегчения проведения технического обслуживания и ремонта этого оборудования.

6.64. Срабатывание системы аварийного охлаждения активной зоны следует обеспечивать так, чтобы ограничивался риск превышения давления в системе теплоносителя реактора. В частности, следует учитывать состояния холодного останова, при которых срабатывание системы аварийного охлаждения активной зоны (ложное или не являющееся таковым) может потенциально привести к повреждению корпуса реактора или системы отвода остаточного тепловыделения (например, вследствие хрупкого разрушения).

6.65. Следует предусматривать проектные решения, обеспечивающие раннее обнаружение течей в отдельных частях системы аварийного охлаждения активной зоны, размещаемых за пределами защитной оболочки (контейнмента), с целью обеспечения изоляции системы до включения отбора запасов воды.

6.66. Для целей управления авариями следует предусматривать решения, позволяющие отключать и изолировать каждый канал системы аварийного охлаждения активной зоны из помещения главного щита управления. Вместе с тем следует исключить возможность отключения системы аварийного

охлаждения активной зоны из помещения главного щита управления в период, когда аварийное охлаждение активной зоны является необходимым.

6.67. Следует предусматривать, чтобы система аварийного охлаждения активной зоны была квалифицирована для работы с радиоактивной водой, содержащей твердые частицы, с учетом возможностей системы фильтрации.

6.68. Для обеспечения нормальной работы насосов системы аварийного охлаждения активной зоны в условиях проектных аварий следует предусматривать наличие минимального эффективного положительного подпора на всасывании с учетом таких ограничивающих явлений, как вихреобразование, воздухововлечение и скопление мусора на поверхности фильтра приемка. Следует конкретно обосновывать параметры нарастания давления внутри защитной оболочки (контейнмента), если это допускается национальными регулирующими положениями (нормативными актами).

6.69. В целях обеспечения возможности проведения периодического тестирования и предотвращения выхода из строя насосов системы аварийного охлаждения активной зоны при малых расходах впрыска следует предусматривать линии минимальной подачи.

### **Отвод остаточного тепловыделения в режимах горячего останова в случае проектных аварий**

6.70. Остаточное тепловыделение, образующееся в активной зоне после останова реактора, передается из системы теплоносителя реактора на парогенераторы. Функция отвода тепла обеспечивается аварийной системой питательной воды и системой сброса пара в атмосферу. В состав аварийной системы подачи питательной воды входят аварийные насосы подачи питательной воды, регулирующие и изолирующие (отсечные) клапаны. В системе сброса пара в атмосферу имеются регулирующий клапан и изолирующий (отсечной) клапан, расположенные на выходе из парогенераторов.

6.71. В пунктах 6.72–6.81 приведены рекомендации по выполнению требования 51, изложенного в SSR-2/1 (Rev. 1) [1], в отношении проектных аварий; они дополняют рекомендации раздела 3, относящиеся к системам безопасности.

6.72. Следует обеспечивать, чтобы производительность аварийной системы подачи питательной воды и системы сброса была достаточной для

обеспечения надежного отвода остаточного тепловыделения и охлаждения системы теплоносителя без превышения пределов, установленных для топлива, для границы (барьера) давления контура теплоносителя реактора и для конструкций, важных для безопасности, в аварийных условиях без значительной деградации топлива.

6.73. Следует предусматривать наличие объемов аварийной питательной воды и автономность, которые необходимы для обеспечения режима работы системы теплоносителя реактора с достаточным запасом безопасности по отводу остаточных тепловыделений (как правило, в качестве минимума рассматривается обеспечение автономности в течение 24 часов). При условии, что действия оператора в режиме ручного управления четко прописаны в аварийных эксплуатационных процедурах, для увеличения производительности и автономности системы можно предусматривать установку смежных соединений между баками аварийной питательной воды.

6.74. При проектировании аварийной системы подачи питательной воды следует обеспечивать возможность подачи подпиточной воды второго контура на парогенераторы в случае проектных аварий, в которых основная или вспомогательная система подачи питательной воды становятся функционально не доступной.

6.75. Следует предусматривать, чтобы система сброса пара в атмосферу обеспечивала сброс пара из парогенераторов с целью отвода остаточного тепловыделения и охлаждения системы теплоносителя реактора, когда главный конденсатор функционально не доступен или закрыты изолирующие (отсечные) клапаны главных паропроводов.

#### *Особые вопросы, учитываемые при проектировании*

6.76. При проектировании и изготовлении оборудования для поддержания давления в аварийной системе подачи питательной воды следует руководствоваться апробированными нормами, правилами и стандартами, широко используемыми в атомной отрасли (например, [24, 25, 27] и аналогичными стандартами). Для каждого конкретного конструкционного элемента следует устанавливать требования с должным учетом последствий, которые возникают в результате отказа этого элемента, приводящего к невыполнению функции безопасности.

6.77. В целях повышения надежности системы при проектировании насосов аварийной системы подачи питательной воды следует рассматривать применение принципа неодинаковости (разнообразия).

6.78. Следует обеспечивать, чтобы клапаны сброса пара в атмосферу были квалифицированы для работы (функции открытия и закрытия) с паром, водой и их смесью (при высоком уровне воды в парогенераторе вода может переноситься паром).

6.79. Для ограничения переохлаждения системы теплоносителя реактора в случае разрыва паропровода следует обеспечивать изоляцию аварийной системы подачи питательной воды и клапанов сброса пара от подвергнувшегося воздействию парогенератора.

6.80. Для предотвращения переполнения парогенератора и ограничения возможного выхода радиоактивной воды в окружающую среду в случае разрыва парогенераторных труб следует обеспечивать изоляцию аварийной системы подачи питательной воды от подвергнувшегося воздействию парогенератора.

6.81. Для ограничения выхода радиоактивных веществ в окружающую среду в случае разрыва парогенераторных труб следует обеспечивать изоляцию главных предохранительных паросбросных клапанов от подвергнувшегося воздействию парогенератора.

### **Долговременный отвод остаточного тепловыделения в случае проектных аварий**

6.82. Функция системы долговременного отвода остаточного тепловыделения заключается в передаче остаточного тепла от системы теплоносителя реактора к системе промежуточного охлаждения и обеспечении безопасного останова в аварийных условиях. Эта система может быть подключена после достаточного охлаждения системы теплоносителя реактора. Такая функция необходима после любой проектной аварии, при которой запас воды в системе теплоносителя реактора достаточен и регулируется.

6.83. Следует предусматривать наличие в составе системы долговременного отвода остаточного тепловыделения нескольких резервных систем безопасности, каждая из которых состоит из насоса и теплообменника с промежуточной системой охлаждения. Система отвода остаточного тепла

забирает на всасывающих патрубках воду из системы теплоносителя реактора и впрыскивает воду обратно в систему теплоносителя реактора после охлаждения в теплообменнике. Применение этой системы следует рассматривать в качестве первого элемента в контуре передачи тепла конечному поглотителю в аварийных условиях.

6.84. В пунктах 6.85–6.88 приведены рекомендации по выполнению требования 51, изложенного в SSR-2/1 (Rev. 1) [1], в отношении отвода остаточного тепловыделения от активной зоны реактора в случае проектных аварий.

6.85. Систему долговременного отвода остаточного тепловыделения следует проектировать в соответствии с рекомендациями, приведенными в пунктах 3.47–3.50 для систем безопасности.

6.86. При проектировании системы долговременного отвода остаточного тепловыделения следует предусматривать, чтобы она обеспечивала отвод остаточного тепловыделения из активной зоны и охлаждение системы теплоносителя реактора до условий безопасного останова.

#### *Особые вопросы, учитываемые при проектировании*

6.87. При проектировании и изготовлении оборудования для поддержания давления следует руководствоваться апробированными нормами, правилами и стандартами, широко используемыми в атомной отрасли (например, [24, 25, 27] и аналогичными стандартами). Для каждого конкретного элемента следует устанавливать требования с должным учетом двух последствий, которые возникают в результате отказа этого элемента (невыполнение функции безопасности и радиоактивный выброс).

6.88. Кроме того, следует учитывать рекомендации, изложенные в пунктах 3.48–3.52.

#### **Отвод остаточного тепловыделения в режимах горячего останова в запроектных условиях без значительной деградации топлива**

6.89. В пунктах 6.90 и 6.91 приведены рекомендации по выполнению требования 51, изложенного в SSR-2/1 (Rev. 1) [1], в отношении отвода остаточного тепловыделения от активной зоны реактора в запроектных условиях без значительной деградации топлива.

6.90. Требования, относящиеся к учету запроектных условий, зависят от особенностей проекта, и в таких случаях следует предусматривать дополнительные проектные решения, обеспечивающие компенсацию множественных отказов, приводящих к выходу из строя соответствующих систем, а также систем безопасности, предназначенных для отвода остаточного тепловыделения при состояниях системы теплоносителя реактора, не совместимых с выполнением функции отвода остаточного тепла. Как правило, следует предусматривать:

- a) расширенную автономность аварийной системы подачи питательной воды с возможностью пополнения ее запасов воды на площадке;
- b) поддержание работоспособности аварийной системы подачи питательной воды и работы клапанов сброса пара в атмосферу в случае длительного обесточивания станции;
- c) применение системы пассивного отвода тепла через второй контур;
- d) отвод остаточного тепловыделения из активной зоны за счет реализации процедуры подпитки и продувки («feed and bleed») первого контура;
- e) применение пассивной системы отвода остаточного тепловыделения.

6.91. Для облегчения управления запроектными авариями в аварийной системе подачи питательной воды следует предусматривать соединительные трубопроводы для подачи воды в парогенераторы от внешних источников, например от пожарных машин или передвижных дизельных насосов.

### **Быстрый сброс давления в системе теплоносителя реактора в запроектных условиях с расплавлением активной зоны**

6.92. В состав системы быстрого сброса давления в системе теплоносителя реактора входят клапаны и связанные с ними трубы, непосредственно соединенные с границей (барьером) давления контура теплоносителя реактора.

6.93. Для практического устранения явлений, связанных с выбросом расплава под высоким давлением при тяжелых авариях (с непосредственным нагревом защитной оболочки реактора), при проектировании следует обеспечивать функцию быстрого сброса давления в первом контуре, которую следует использовать в начале развития аварии с расплавлением активной зоны.

### *Особые вопросы, учитываемые при проектировании*

6.94. Следует обеспечивать, чтобы в соответствии с принципом неодинаковости (разнообразия) конструкция клапанов быстрого сброса давления в системе теплоносителя реактора отличалась от конструкции предохранительных клапанов, предназначенных для защиты от превышения давления в системе теплоносителя реактора.

6.95. Следует предусматривать решения, надежно предотвращающие ложное открытие клапанов быстрого сброса давления.

6.96. При проектировании и изготовлении оборудования для поддержания давления в системе быстрого сброса давления, входящего в состав границы (барьера) давления контура теплоносителя реактора, следует руководствоваться апробированными нормами, правилами и стандартами проектирования и изготовления границы (барьера) давления контура теплоносителя реактора.

6.97. При срабатывании системы быстрого сброса давления в системе теплоносителя реактора на ранней стадии развития аварии с расплавлением активной зоны, предполагается, что температура и давление в системе теплоносителя реактора будут очень высокими; поэтому при проектировании системы быстрого сброса давления в системе теплоносителя реактора следует предусматривать необходимость обеспечения ее работы в таких жестких условиях.

6.98. При проектировании системы быстрого сброса давления в системе теплоносителя реактора следует предусматривать необходимость обеспечения ее работоспособности при сейсмических нагрузках уровня SL-2.

6.99. Следует обеспечивать возможность быстрого сброса давления в системе теплоносителя реактора при обесточивании станции.

### **СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕАКТИВНОСТЬЮ АКТИВНОЙ ЗОНЫ В АВАРИЙНЫХ УСЛОВИЯХ**

6.100. В пунктах 6.101–6.106 приведены рекомендации по выполнению требований, изложенных в пунктах 6.10 и 6.11 в SSR-2/1 (Rev. 1) [1], в отношении останова реактора в аварийных условиях без значительной деградации топлива. Эти рекомендации предназначены для проектирования

систем, работа которых основана на надлежащем обеспечении впрыска воды с высокой концентрацией борной кислоты. Рекомендации по системам останова, работа которых основана на вводе в активную зону твердых поглотителей, приведены в SSG-52 [17].

6.101. При проектировании системы управления реактивностью активной зоны в аварийных условиях, используемой в соответствии с принципом неодинаковости (разнообразия) в качестве второго средства останова реактора, следует руководствоваться правилами инженерно-технического проектирования систем безопасности.

6.102. Следует обеспечивать независимость системы управления реактивностью активной зоны в аварийных условиях от системы аварийного отключения (останова) реактора.

6.103. Следует предусматривать, чтобы система управления реактивностью активной зоны в аварийных условиях обеспечивала останов реактора в случае ожидаемого переходного режима без срабатывания системы аварийного останова и без превышения пределов для ядерного топлива, установленных для запроектных условий без значительной деградации топлива.

6.104. Следует предусматривать, чтобы концентрация борной кислоты была достаточной для компенсации изменения свойств замедлителя при охлаждении системы теплоносителя реактора.

### **Особые вопросы, учитываемые при проектировании**

6.105. При проектировании и изготовлении оборудования для поддержания давления следует руководствоваться апробированными нормами, правилами и стандартами, широко используемыми в атомной отрасли (например, [24, 25, 27] и аналогичными стандартами). Для каждого конкретного элемента следует устанавливать требования с должным учетом последствий, которые возникают в результате отказа этого элемента, приводящего к невыполнению функции безопасности.

6.106. Следует рассматривать применение проектных решений, обеспечивающих предотвращение кристаллизации бора из-за его высоких концентраций в баках и трубах при нормальной эксплуатации. Следует учитывать холодные условия, рассчитанные на основе оценки опасностей на площадке.

## **7. ОСОБЫЕ ВОПРОСЫ, УЧИТЫВАЕМЫЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СВЯЗАННЫХ С КОНТУРОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ СИСТЕМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ РЕАКТОРОВ BWR**

### **СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗАПАСА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ И РЕАКТИВНОСТИ АКТИВНОЙ ЗОНЫ В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СОСТОЯНИЯХ**

7.1. Вопросы управления реактивностью активной зоны путем ввода регулирующих стержней и управления расходом рециркулирующего теплоносителя рассматриваются в SSG-52 [17].

#### **Очистка водного теплоносителя реактора**

7.2. Схему протока теплоносителя в корпусе реактора следует оптимизировать так, чтобы обеспечивалось предотвращение возникновения застойных зон (во избежание образования скопления отложений) и ограничение количества карманов с более холодной водой, которые могут приводить к образованию скачков реактивности или ненужным тепловым нагрузкам.

7.3. Кроме того, в проекте следует предусматривать:

- a) ограничение концентрации загрязняющих веществ и примесей в теплоносителе реактора;
- b) мониторинг проводимости теплоносителя реактора и мониторинг загрязненности отбираемых проб теплоносителя;
- c) регулирование уровня воды во время останова и в условиях работы на малой мощности для удаления избыточной воды из системы теплоносителя реактора.

7.4. Следует рассматривать применение системы водного теплоносителя реактора в качестве альтернативного средства отвода остаточного тепловыделения в условиях останова.

## СИСТЕМЫ ТЕПЛОТВОДА В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СОСТОЯНИЯХ

7.5. В пунктах 7.6–7.16 приведены рекомендации по выполнению требования 51, изложенного в SSR-2/1 (Rev. 1) [1]; они дополняют общие рекомендации раздела 3.

7.6. В проекте станции следует предусматривать соответствующие системы для отвода остаточного тепловыделения от системы теплоносителя реактора в различных условиях останова (например, в режимах горячего останова, холодного останова и во время перегрузки топлива).

7.7. При проектировании системы теплоотвода следует предусматривать ее достаточную производительность для обеспечения охлаждения системы теплоносителя реактора в течение достаточно короткого периода времени в диапазоне от условий горячего останова (после остановки реактора) до условий, необходимых для проведения операций по перегрузке топлива.

7.8. При расчете минимальной производительности системы теплоотвода следует предусматривать ее достаточную мощность для обеспечения отвода остаточного тепловыделения даже в случае постулируемого единичного отказа в любой системе, требующейся для обеспечения отвода остаточного тепловыделения. Кроме того, следует предусматривать, чтобы проект системы отвода остаточного тепловыделения обеспечивал при функциональной недоступности одного канала или участка системы ее достаточную производительность для продолжения, хотя и с меньшей скоростью, расхолаживания в условиях горячего или холодного останова.

7.9. Максимальную производительность системы теплоотвода следует проектировать с учетом эксплуатационных критериев (например, времени до достижения условий для перегрузки топлива) без превышения пределов, установленных для нормальных условий эксплуатации топлива и границы (барьера) давления контура теплоносителя реактора.

7.10. Следует обеспечивать возможность отвода остаточного тепловыделения в случае потери внеплощадочного электроснабжения.

7.11. Системы отвода остаточного тепловыделения следует проектировать с соблюдением всех рекомендаций, изложенных в разделе 3 настоящего Руководства по безопасности, если они также применяются для отвода

и передачи остаточного тепловыделения после проектной аварии (см. пункт 2.8).

### **Изоляционные (технологические) конденсаторы (если предусматриваются проектом)**

7.12. Как правило, конструкцию изоляционных (технологических) конденсаторов следует выбирать в соответствии с проектом системы теплоносителя реактора, и их следует проектировать с соблюдением тех же требований и рекомендаций, которые применяются при проектировании системы теплоносителя реактора.

7.13. При проектировании клапанов управления процессами и выпускных клапанов следует руководствоваться информацией об источниках электроэнергии, которые в соответствии с принятыми допущениями будут доступны для использования в начале развития события. Объем доступной воды для обеспечения работы изоляционных (технологических) конденсаторов следует определять путем расчета периода времени, в течение которого будет обеспечиваться работа без восполнения запасов воды в бассейнах изоляционных (технологических) конденсаторов. Минимальная рекомендуемая длительность работы составляет 72 часа, при этом как минимум следует обеспечивать соответствие длительности работы требованиям регулирующего органа.

7.14. При проектировании труб и трубных досок изоляционного (технологического) конденсатора следует обеспечивать их работоспособность в условиях максимальных напряжений и самых тяжелых усталостных нагрузок, ожидаемых в эксплуатационных состояниях и в случае проектных аварий.

7.15. При проектировании изоляционных (технологических) конденсаторов следует предусматривать наличие надлежащей системы обнаружения течей в трубах и сигнализации о них.

7.16. В проекте следует предусматривать решения, исключающие образование скопления газов, захваченных в паровом пространстве верхней трубной доски и во входной трубе изоляционного (технологического) конденсатора.

## СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ АКТИВНОЙ ЗОНЫ И ОТВОДА ОСТАТОЧНОГО ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЯ В АВАРИЙНЫХ УСЛОВИЯХ

### Охлаждение активной зоны в случае проектных аварий

7.17. При проектировании и монтаже системы аварийного охлаждения активной зоны следует обеспечивать выполнение требования 52, изложенного в SSR-2/1 (Rev. 1) [1], применительно к проектным авариям с потерей теплоносителя первого контура:

- a) систему аварийного охлаждения активной зоны следует проектировать для обеспечения охлаждения топлива в пределах, установленных для топлива и оболочки тепловыделяющих элементов в случае аварии с потерей теплоносителя, с учетом правил, используемых для анализа проектных аварий;
- b) в случае небольшого разрыва трубопровода отвод энергии в месте разрыва может оказаться недостаточным для эффективного охлаждения топлива, и поэтому для обеспечения необходимой охлаждающей способности следует использовать дополнительные системы или оборудование (например, дополнительное открытие одного или нескольких предохранительных паросбросных клапанов для отвода пара (энергии) в бассейн-барботер или включение системы аварийного охлаждения активной зоны низкого давления);
- c) при проектировании системы аварийного охлаждения активной зоны следует предусматривать ее достаточную производительность для предотвращения или ограничения обнажения тепловыделяющих сборок в случае разрыва труб первого контура различных размеров;
- d) в конструкции общей системы аварийного охлаждения активной зоны следует предусматривать возможность ее работы как при высоком, так и при низком давлении. Систему аварийного охлаждения активной зоны высокого давления можно использовать в случае ожидаемых при эксплуатации событиях и аварий с небольшой потерей теплоносителя без необходимости снижения давления в системе теплоносителя реактора;
- e) при проектировании системы аварийного охлаждения активной зоны следует предусматривать функции восстановления и поддержания достаточного запаса теплоносителя в системе теплоносителя реактора с целью обеспечения надлежащего охлаждения активной зоны;
- f) в проекте системы аварийного охлаждения активной зоны следует предусматривать необходимость обеспечения долговременного отвода остаточного тепловыделения с учетом состояния, при котором

целостность системы теплоносителя реактора не может быть обеспечена;

- g) системы аварийного охлаждения активной зоны следует относить к классу безопасности 1 (см. SSG-30 [15]), учитывая функцию, которую выполняет аварийное охлаждение активной зоны. При проектировании и изготовлении конкретных конструктивных элементов следует руководствоваться инженерно-техническими требованиями, установленными отраслевыми нормами и правилами (например, [см. 24, 25, 27], и аналогичными стандартами). Применяемые требования следует устанавливать с должным учетом двух последствий, которые возникают в результате отказа данного элемента (невыполнение функции безопасности и возникновение радиоактивного выброса).

7.18. При проектировании системы аварийного охлаждения активной зоны следует предусматривать ее производительность, достаточную для поддержания активной зоны в полностью погруженном состоянии во время наиболее сложных проектных аварий.

7.19. Для контроля температуры и уровня воды в бассейне-барботере в условиях нормальной эксплуатации и в аварийных условиях следует предусматривать использование соответствующей контрольно-измерительной аппаратуры.

### **Отвод остаточного тепловыделения в случае проектных аварий**

7.20. Если системы, работающие в условиях нормального останова, не отвечают требованиям инженерно-технического проектирования, предъявляемым к системам безопасности, в проекте станции следует предусматривать дополнительные системы отвода остаточного тепловыделения от системы теплоносителя реактора в случае проектных аварий.

### **Охлаждение активной зоны в запроектных условиях**

7.21. Средства обеспечения безопасности в запроектных условиях зависят от используемой реакторной технологии и конструкции реактора, и их следует постулировать путем применения детерминированного подхода, подкрепляемого результатами вероятностных оценок безопасности.

7.22. Следует оценивать потребность в дополнительных средствах обеспечения безопасности для обеспечения аварийного охлаждения активной зоны в случае аварии с потерей теплоносителя, осложненной множественными отказами в системе аварийного охлаждения активной зоны, и при необходимости предпринимать соответствующие меры.

7.23. Следует обеспечивать наличие надежной системы сброса давления в системе теплоносителя реактора, позволяющей осуществлять впрыск теплоносителя в корпус реактора, если устройства впрыска системы охлаждения активной зоны высокого давления не могут поддерживать достаточный уровень воды в корпусе реактора.

7.24. Работу средств обеспечения надлежащего охлаждения активной зоны в запроектных условиях следует главным образом ориентировать на предотвращение расплавления активной зоны в результате возникновения таких условий. Поэтому основное внимание следует уделять обеспечению успешного смягчения последствий наиболее вероятных последовательностей отказов по общей причине, которые были определены для запроектных условий без значительной деградации топлива, используя оборудование, имеющееся на площадке станции.

7.25. В случае обесточивания станции (потери всех источников переменного тока) следует предусматривать меры по обеспечению срабатывания клапанов (на открытие) систем подачи воды с турбоприводом, таких как система охлаждения (высоконапорной подпитки) активной зоны реактора в условиях изоляции (система RCIC) (с использованием сжатого воздуха, источников постоянного тока или мускульной силы человека).

### **Быстрый сброс давления в системе теплоносителя реактора в запроектных условиях с расплавлением активной зоны**

7.26. Следует предусматривать наличие системы сброса давления в системе теплоносителя реактора, чтобы предотвратить воздействие на защитную оболочку (контейнмент) прямых тепловых нагрузок, вызванных разрушением корпуса реактора при высоком давлении. Следует обеспечивать, чтобы эта функция выполнялась с помощью отдельных и специально предназначенных для ее выполнения паросбросных клапанов, в конструкции которых следует предусматривать их фиксацию в открытом положении после снижения давления.

## СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕАКТИВНОСТЬЮ АКТИВНОЙ ЗОНЫ В АВАРИЙНЫХ УСЛОВИЯХ

7.27. Рекомендации в отношении системы регулирующих стержней изложены в SSG-52 [17].

7.28. В системе теплоносителя реактора следует предусматривать наличие связанной с ней системы, способной обеспечить останов реактора за счет впрыска в корпус реактора жидкости, содержащей вещество, поглощающее нейтроны; такая система называется резервной системой жидкостного регулирования. Эта система обеспечивает неодинаковость (разнообразие) средств приведения реактора в подкритическое состояние и используется, когда отсутствует возможность ввода регулирующих стержней в активную зону физическим способом.

7.29. Следует предусматривать, чтобы резервная система жидкостного регулирования обладала производительностью, необходимой для останова активной зоны и поддержания ее подкритичности в наиболее реактивном эксплуатационном состоянии с достаточным запасом.

7.30. Следует обеспечивать, чтобы скорость впрыска вещества, поглощающего нейтроны, как минимум, соответствовала требованиям регулирующего органа.

7.31. Следует предусматривать, чтобы возможность впрыска вещества, поглощающего нейтроны, в корпус реактора обеспечивалась даже в случае недоступности внеплощадочного электроснабжения.

## **8. ОСОБЫЕ ВОПРОСЫ, УЧИТЫВАЕМЫЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СВЯЗАННЫХ С КОНТУРОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ СИСТЕМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ РЕАКТОРОВ PHWR**

8.1. Связанные с контуром теплоносителя системы необходимы для безопасного функционирования системы теплоносителя реактора и

подсоединенных к ней систем. К связанным системам в технологии реакторов PHWR относятся:

- a) система для выполнения транспортно-технологических операций с топливом, включая перегрузочные машины;
- b) системы контроля давления и запаса теплоносителя;
- c) система охлаждения уплотнений насосов;
- d) система охлаждения при останове;
- e) система аварийного охлаждения активной зоны реактора;
- f) замедлитель и система его охлаждения;
- g) система охлаждения защитного экрана;
- h) система паропроводов и питательной воды;
- i) вспомогательная система подачи питательной воды.

## СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ РЕАКТИВНОСТИ АКТИВНОЙ ЗОНЫ В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СОСТОЯНИЯХ

8.2. В пунктах 8.3 и 8.4 приведены рекомендации по выполнению требования 45, изложенного в SSR-2/1 (Rev. 1) [1], в отношении систем, предназначенных для управления реактивностью в эксплуатационных состояниях. К регулирующим устройствам, используемым в системе управления реактором, относятся механические поглотители, регуляторы и отсеки легководной зоны.

8.3. В режиме нормальной эксплуатации система управления реактором регулирует мощность реактора и при необходимости пространственное распределение плотности энерговыделения в эксплуатационных пределах во всех режимах эксплуатации. К эксплуатационным пределам может относиться максимальная мощность реактора, максимальная мощность топливного канала (или топливного пучка) и максимальный перекоп энерговыделения.

8.4. Во время ожидаемых при эксплуатации событий система управления реактором реагирует на отклонения от режима нормальной эксплуатации, удерживая все основные параметры реактора в заданных пределах и таким образом предотвращая перерастание ожидаемых при эксплуатации событий в аварийные условия. Такое реагирование может проявляться в быстром или постепенном сбросе мощности реактора, при которых мощность реактора снижается до соответствующих уровней с разной скоростью.

## СИСТЕМЫ ТЕПЛОТВОДА В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СОСТОЯНИЯХ

8.5. В пунктах 8.6–8.40 приведены рекомендации по выполнению требований 47–53, изложенных в SSR-2/1 (Rev. 1) [1], в отношении систем, предназначенных для реализации функции безопасного охлаждения в эксплуатационных состояниях. В эксплуатационных состояниях теплоотвод обеспечивают несколько систем. К их числу относятся система главных паропроводов и трубопроводов питательной воды, система охлаждения при останове и вспомогательная система питательной воды.

### **Система главных паропроводов и питательной воды**

8.6. Функция системы главных паропроводов и питательной воды заключается в передаче тепла, вырабатываемого в активной зоне реактора, к турбине для выработки электроэнергии.

8.7. В состав системы главных паропроводов и трубопроводов питательной воды входят главные паропроводы и трубопроводы питательной воды парогенераторов. Главные паропроводы подают пар с постоянным давлением от парогенераторов в центральном зале к турбине через балансировочный коллектор пара, расположенный в турбинном (машинном) зале. Система подачи питательной воды регулирует расход для поддержания необходимого уровня в парогенераторах.

8.8. Следует предусматривать, чтобы система главных паропроводов и трубопроводов питательной воды обеспечивала устойчивую работу реактора на номинальном уровне мощности в условиях нормальной эксплуатации. Следует обеспечивать сбалансированность производства и рассеивания тепловой энергии при любом уровне мощности.

8.9. При проектировании системы подачи питательной воды следует обеспечивать, чтобы в нее поступала горячая питательная вода под давлением из канала питательной воды, расположенного в турбинном (машинном) зале, и подавалась на второй контур парогенераторов.

8.10. Следует предусматривать решения, обеспечивающие регулирование давления пара и запаса воды в парогенераторах во время пуска.

8.11. Следует обеспечивать, чтобы система главных паропроводов и трубопроводов питательной воды имела достаточную производительность

для теплоотвода к конечному поглотителю тепла на начальном этапе расхолаживания станции.

8.12. Следует предусматривать, чтобы система главных паропроводов и трубопроводов питательной воды имела достаточную производительность для теплоотвода к конечному поглотителю тепла в случаях, когда главный конденсатор функционально не доступен.

8.13. Следует обеспечивать наличие изолирующих (отсечных) клапанов на главных паропроводах для отсечения подачи свежего пара на турбину в случае возникновения течи в парогенераторной трубе после останова реактора, ввода в действие системы охлаждения при останове и снижении давления в системе теплоносителя первого контура.

8.14. Следует обеспечивать, чтобы трубы на участке от парогенераторов до изолирующих (отсечных) клапанов главных паропроводов и изолирующих (отсечных) клапанов главных трубопроводов питательной воды включительно (см. SSG-30 [15]) имели тот же класс безопасности, что и оборудование второго контура парогенераторов.

8.15. Следует предусматривать наличие резервных систем теплоотвода в объеме, необходимом для обеспечения управляемого охлаждения системы теплоносителя реактора, когда конечный поглотитель тепла функционально не доступен или главный паропровод изолирован.

8.16. В системе главных паропроводов и трубопроводов питательной воды следует предусматривать устройства (например, предохранительные клапаны) для защиты от превышения давления во втором контуре парогенераторов при закрытых изолирующих (отсечных) клапанах главных паропроводов и трубопроводов питательной воды.

8.17. Следует предусматривать, чтобы пропускная способность предохранительных клапанов была достаточной для поддержания максимального давления во втором контуре парогенераторов с соблюдением критериев приемлемости (приемочных критериев).

8.18. Следует обеспечивать, чтобы в состав системы, регулирующей давление в парогенераторах, входили сбросные клапаны. Следует предусматривать, чтобы эти сбросные клапаны, наряду с главными паровыми предохранительными клапанами, также обеспечивали защиту от превышения давления во втором контуре парогенераторов.

8.19. В помещении главного щита управления как минимум следует обеспечивать индикацию и/или сигнализацию для:

- a) расхода пара;
- b) давления в парогенераторах;
- c) уровня в парогенераторах;
- d) давления в паровом коллекторе;
- e) расхода питательной воды;
- f) давления в коллекторе питательной воды;
- g) температуры питательной воды;
- h) уровня радиоактивности;
- i) ключевых химических параметров.

8.20. Следует предусматривать для изолирующих (отсечных) клапанов главных паропроводов и байпасных клапанов наличие органов контроля, обеспечивающих управление этими клапанами в дистанционном ручном и автоматическом режимах.

8.21. Следует предусматривать оснащение клапанов для сброса пара в атмосферу органами регулирования, обеспечивающими управление этими клапанами в дистанционном ручном и автоматическом режимах.

8.22. Следует предусматривать, чтобы главные паровые устройства (предохранительные и сбросные клапаны) обеспечивали возможность теплоотвода от парогенераторов, когда теплоотвод через главный конденсатор функционально не доступен.

8.23. Следует предусматривать, чтобы система паропроводов и трубопроводов питательной воды обеспечивала возможность байпасирования турбины и сброса пара непосредственно в конденсатор как в автоматическом, так и ручном режиме управления. Следует обеспечивать, чтобы этот байпас был достаточным для полного отвода нагрузки.

8.24. Следует предусматривать проектные решения, не допускающие, чтобы выход из строя одного паропровода приводил к истечению (сдувке) не подвергшихся воздействию парогенераторов.

8.25. При прокладке, обеспечении защиты и фиксации паропроводов и трубопроводов питательной воды следует предпринимать меры, направленные на предотвращение множественных аварий в случае разрыва паропровода, трубопровода питательной воды или любой другой трубы.

## **Система охлаждения при останове (система отвода остаточного тепловыделения)**

8.26. В состав системы охлаждения при останове входят насосы и теплообменники, установленные между входным и выходным коллекторами каждой петли системы теплоносителя первого контура и соединенные с ними. В режиме нормальной эксплуатации система заполнена тяжелой водой и изолирована от системы теплоносителя первого контура.

8.27. Функция системы охлаждения при останове заключается в обеспечении охлаждения топлива в течение неопределенного времени после останова реактора. Кроме того, она предназначена для обеспечения функции охлаждения при опорожнении системы теплоносителя первого контура до коллекторов реактора для проведения технического обслуживания и ремонта парогенераторов и внутренних устройств насосов системы теплоносителя первого контура.

8.28. Рекомендуется, чтобы система охлаждения при останове размещалась внутри защитной оболочки (контейнента).

8.29. Следует предусматривать, чтобы система охлаждения при останове обеспечивала возможность регулирования уровня тяжелой воды в коллекторах системы теплоносителя первого контура в опорожненном состоянии.

8.30. Следует предусматривать, чтобы система охлаждения при останове обеспечивала возможность охлаждения системы теплоносителя первого контура при внезапном прекращении возможности теплоотвода через парогенераторы.

8.31. Систему охлаждения при останове следует проектировать так, чтобы она обеспечивала возможность отвода остаточного тепловыделения при останове реактора после аварии, функционируя в качестве альтернативного способа теплоотвода к парогенераторам.

8.32. При проектировании теплообменников расхолаживания при останове следует предусматривать необходимость обеспечения их работоспособности в условиях воздействия экстремальных скачков температуры.

8.33. Следует предусматривать, чтобы система охлаждения при останове обеспечивала возможность снижения, подъема и регулирования уровня

теплоносителя в системе теплоносителя реактора для выполнения технического обслуживания и ремонта насосов системы теплоносителя и парогенераторов. Следует предусматривать, чтобы систему охлаждения при останове можно было использовать для опорожнения системы теплоносителя первого контура, когда система теплоносителя первого контура находится в холодном состоянии и давление в ней снижено.

8.34. Следует предусматривать, чтобы система охлаждения при останове обеспечивала достаточные возможности для регулирования расхода.

8.35. Для обеспечения целостности и надежности системы охлаждения при останове в ее конструкции и компоновке следует предусматривать проектные решения, обеспечивающие проведение инспекционного контроля основных элементов во время останова.

8.36. Следует обеспечивать, чтобы теплопередача осуществлялась в эксплуатационных состояниях и связанных с ними постулируемых аварийных условиях. Диапазоны соответствующих параметров (например, температуру и давление теплоносителя первого контура) следует определять для каждого состояния станции.

### **Вспомогательная система подачи питательной воды**

8.37. В состав системы подачи питательной воды могут входить:

- a) главная система подачи питательной воды;
- b) вспомогательная система подачи питательной воды;
- c) система аварийного теплоотвода (расхолаживания).

8.38. В проекте следует предусматривать вспомогательную систему подачи питательной воды или эквивалентную систему для выполнения функции резервной системы теплоотвода на станции в случае, когда главная система подачи питательной воды оказывается в состоянии функциональной недоступности. Кроме того, возможности вспомогательной системы подачи питательной воды для теплоотвода можно использовать для снижения давления в системе теплоносителя реактора, когда это необходимо.

8.39. При проектировании вспомогательной системы подачи питательной воды или эквивалентной системы следует предусматривать, чтобы она обеспечивала возможность поддержания станции в горячем стояночном режиме в течение длительного периода времени. Следует обеспечивать,

чтобы вспомогательная система подачи питательной воды имела достаточную производительность, необходимую для эффективного выполнения данной функции. Если подключение к резервной питательной воде или к деаэратору невозможно, следует предусматривать другие средства подачи вспомогательной питательной воды к парогенераторам.

8.40. При проектировании вспомогательной системы подачи питательной воды следует предусматривать соединительные трубопроводы для подачи воды на парогенераторы из бака резервной воды (называемого также баком воды защитной оболочки реактора или резервуаром системы заливки водой), а также от пожарных машин или передвижных дизельных насосов. Следует предусматривать средства регистрации количества воды, подаваемой на парогенераторы.

## СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕАКТИВНОСТЬЮ АКТИВНОЙ ЗОНЫ В АВАРИЙНЫХ УСЛОВИЯХ

8.41. В пунктах 8.42–8.49 приведены рекомендации в отношении систем, предназначенных для выполнения функции безопасности применительно к управлению реактивностью в аварийных условиях, включая проектные аварии и запроектные условия без значительной деградации топлива.

### **Системы останова реактора**

8.42. В реакторе PHWR предусматриваются две физически независимые системы останова. При проектировании обеспечивается как функциональное различие, так и геометрическое разделение этих систем. Функциональное различие достигается за счет применения стержней аварийной защиты в первой системе останова и ввода жидкого поглотителя нейтронов (отравления) во второй системе. В проекте предусматривается, что обе системы останова были способны независимо друг от друга и в короткий срок переводить реактор в подкритическое состояние в случае всех ожидаемых при эксплуатации событий и проектных аварий с достаточным запасом безопасности.

8.43. Вторая система останова реактора обеспечивает быстрый ввод жидкого поглотителя нейтронов в объем замедлителя через горизонтально расположенные патрубки. Во второй системе останова реактора используется независимый множественный алгоритм аварийного отключения (останова) реактора, который определяет параметры, при которых требуется останов,

и отдает команду на открытие быстродействующих клапанов для подачи поглотителя нейтронов в замедлитель.

8.44. Первую и вторую систему останова реактора следует проектировать так, чтобы они были быстродействующими, полнофункциональными, сконструированными в соответствии с принципом неодинаковости (разнообразия) и функционально не зависели друг от друга. Кроме того, в случае использования этих систем в конструкции реактора следует обеспечивать, чтобы они были пассивными.

8.45. При проектировании второй системы останова реактора следует предусматривать проектные решения, обеспечивающие предотвращение возникновения проблем, связанных с химическим составом (например, меры по предупреждению образования отложений).

8.46. При проектировании второй системы останова реактора следует обеспечивать соблюдение критериев приемлемости (приемочных критериев), предусматриваемых для параметров эффективности аварийного отключения (останова) реактора при всех ожидаемых при эксплуатации событиях и в аварийных условиях без значительной деградации топлива.

8.47. При проектировании второй системы останова реактора следует предусматривать, чтобы в «равновесном состоянии» (т.е. в состоянии готовности к вводу достаточной отрицательной реактивности для останова реактора) эта система обеспечивала:

- a) присутствие за пределами активной зоны реактора достаточного количества поглотителя нейтронов, имеющего соответствующую концентрацию, должный химический состав и необходимые поглощающие свойства, а также готового к впрыску в замедлитель для останова реактора;
- b) средства проверки соответствия количества поглотителя нейтронов и его концентрации, химического состава и поглощающих свойств;
- c) средства максимально эффективного и действенного впрыска поглотителя нейтронов в замедлитель после появления сигнала на аварийное отключение (останов) во второй системе останова реактора;
- d) средства обратной промывки линий впрыска, в которых концентрация поглотителя достигает чрезмерного уровня вследствие его миграции.

8.48. При проектировании второй системы останова реактора следует предусматривать, чтобы в «состоянии аварийного отключения» (т.е. после

впрыска поглотителя в замедлитель для останова реактора и поддержания его в подкритическом состоянии) эта система обеспечивала:

- a) поддержание реактора в подкритическом состоянии после аварийного срабатывания второй системы останова реактора;
- b) прекращение впрыска, если управляющая логика аварийного срабатывания второй системы останова реактора сбрасывает команду на останов в связи с внутриреакторной негерметичностью в состоянии аварийного отключения.

8.49. В критерии надежности следует включать определение необходимости останова, инициирование останова и ввод отрицательной реактивности. Следует учитывать все элементы, требующиеся для выполнения функции останова.

## СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ АКТИВНОЙ ЗОНЫ И ОТВОДА ОСТАТОЧНОГО ТЕПЛОЫДЕЛЕНИЯ В АВАРИЙНЫХ УСЛОВИЯХ

8.50. В пунктах 8.51–8.117 приведены рекомендации по выполнению требований 47–53, изложенных в SSR-2/1 (Rev. 1) [1], в отношении систем, предназначенных для выполнения функции безопасности применительно к охлаждению в аварийных условиях, в том числе в случае проектных аварий и в запроектных условиях без значительной деградации топлива. К системам, предназначенным для поддержания функции безопасности применительно к охлаждению в случае проектных аварий, относятся система аварийного охлаждения активной зоны и расширенная система аварийного теплоотвода.

8.51. Системы в контуре теплоносителя реактора и связанные с ними системы, предназначенные для смягчения последствий проектных аварий, следует рассматривать как системы безопасности и проектировать в соответствии с инженерно-техническими правилами проектирования, действующими в отношении этих систем.

8.52. Системы, предназначенные для смягчения последствий запроектных условий, следует рассматривать как средства обеспечения безопасности в запроектных условиях, и их следует проектировать в соответствии с инженерно-техническими правилами проектирования, действующими в отношении этих средств. Для достижения необходимой надежности эти системы могут проектироваться с обеспечением должного внутрисистемного резервирования.

## **Система аварийного охлаждения активной зоны**

8.53. Система аварийного охлаждения активной зоны (САОЗ) включает в себя совокупность активных и пассивных средств впрыска (насосы, трубы и клапаны) с различным давлением на напорных патрубках в зависимости от конструкции, а также баки пассивной системы впрыска (гидроемкости). Кроме того, в состав системы могут входить теплообменники.

8.54. Система аварийного охлаждения активной зоны подает охлаждающую воду (легкую воду) в систему теплоносителя реактора после аварии с потерей теплоносителя, которая привела к потере запаса тяжелой воды. При ее проектировании следует предусматривать, чтобы она обеспечивала отвод остаточного тепловыделения из реактора.

8.55. При проектировании системы аварийного охлаждения активной зоны следует предусматривать, чтобы она обеспечивала надлежащее охлаждение активной зоны в случае гильотинного разрыва трубопровода с двухсторонним истечением теплоносителя.

8.56. В соответствии с применяемыми критериями приемлемости (приемочными критериями) следует обеспечивать, чтобы инжекционная мощность системы аварийного охлаждения активной зоны обеспечивала повторный залив активной зоны в случае проектной аварии с потерей теплоносителя.

8.57. Следует предусматривать, чтобы система аварийного охлаждения активной зоны обеспечивала поддержание активной зоны в охлаждаемой геометрии и отвод остаточного тепловыделения.

8.58. Если давление впрыска системы аварийного охлаждения активной зоны ниже давления срабатывания предохранительных устройств парогенераторов, оно будет ограничивать объем выбросов из работающих парогенераторов в случае учитываемого в проекте разрыва парогенераторных труб. В любом случае следует обеспечивать, чтобы давление впрыска было ниже давления открытия предохранительных клапанов парогенератора в целях снижения риска их открытия и последующего отказа срабатывать на закрытие.

8.59. Следует обеспечивать, чтобы давление впрыска системы аварийного охлаждения активной зоны ограничивало риск возникновения избыточного давления в системе теплоносителя реактора.

8.60. Впрыск большого объема холодной воды может привести к тепловому удару под давлением для границы (барьера) давления контура теплоносителя реактора или к деформации внутрикорпусных устройств реактора, особенно в состоянии холодного останова. Расчетами переходных состояний жидкости в ключевых точках, результирующей температуры металла и соответствующих напряжений следует доказательно подтвердить, что при проектировании учитывается возможность тепловых ударов.

8.61. Кроме того, в случае проектных аварий, в особенности аварий с большой потерей теплоносителя, система аварийного охлаждения активной зоны может обеспечивать передачу остаточного тепла на теплообменники за счет охлаждения в приемках. Следует обеспечивать достаточную производительность теплообменника для ограничения разогрева приемка в пределах температурного диапазона, сопоставимого с условиями квалификации оборудования, размещаемого внутри здания реактора, и квалификационными параметрами насосов системы аварийного охлаждения активной зоны.

8.62. Система аварийного охлаждения активной зоны соединена с системой теплоносителя реактора, и поэтому ее следует оснащать изолирующими устройствами, которые необходимо использовать для границы (барьера) давления контура теплоносителя реактора. Следует обеспечивать, чтобы в режиме нормальной эксплуатации такие устройства (например, отсечные клапаны) были закрыты и быстро срабатывали на открытие при необходимости впрыска. Следует предусматривать возможность их перевода в закрытое состояние, если впрыск не происходит в течение длительного времени после начала аварии, в особенности в случае подозрения на наличие течи в контуре системы.

8.63. Поскольку система аварийного охлаждения активной зоны частично размещается за пределами защитной оболочки (контейнента), ее необходимо оснащать устройствами для изоляции защитной оболочки реактора в соответствии с требованием 5б, изложенным в SSR-2/1 (Rev. 1) [1]. Для предотвращения осушения приемка следует обеспечивать возможность закрытия клапанов на всасывающих патрубках приемков в любой момент времени при обнаружении течи в части системы, размещаемой за пределами защитной оболочки (контейнента). Такую изоляцию следует обеспечивать с высокой степенью надежности, так как сбой в ее выполнении ведет к тяжелой аварии с полным истощением запасов воды.

8.64. Все элементы системы аварийного охлаждения активной зоны, относящиеся к границе (барьеру) давления контура теплоносителя реактора (например, патрубки впрыска), следует проектировать с учетом тех же требований к качеству и тех же нагрузок, какие применяются в отношении трубопроводов системы теплоносителя реактора.

8.65. Следует обеспечивать исключение возможности незапланированного слива запаса воды системы аварийного охлаждения активной зоны, особенно в случае внешних опасностей. Следует предусматривать надлежащую защиту проходов через защитную оболочку (контейнмент) реактора, предназначенных для всасывающих насосов и изолирующих (отсечных) клапанов.

8.66. В соответствии с возможностями системы фильтрации насосы системы аварийного охлаждения активной зоны следует квалифицировать для работы с радиоактивной водой, содержащей твердые частицы. В квалификационной спецификации следует учитывать уровни радиоактивности и выброса фрагментов, допущения в отношении которых принимаются на случай возникновения проектных аварий и запроектных условий без значительной деградации топлива (аварий с потерей теплоносителя и течей второго контура).

8.67. Следует предусматривать мониторинг возможных течей в отдельных частях системы аварийного охлаждения активной зоны, размещаемых за пределами защитной оболочки (контейнмента), с целью обеспечения возможности изоляции системы до того, как утечка вызовет включение отбора запасов воды или приведет к возникновению окружающих условий внутри здания, которые будут препятствовать срабатыванию изолирующих (отсечных) клапанов.

8.68. Следует предусматривать, чтобы изолирующие устройства системы аварийного охлаждения активной зоны, размещаемые за пределами защитной оболочки (контейнмента), были квалифицированы на работоспособность даже в случае возможной течи в системе.

8.69. В случае применения естественной циркуляции следует предусматривать, чтобы она обеспечивала достаточный расход и не ухудшалась в результате таких явлений, как образование скопления неконденсирующихся газов или негативно воздействующее распределение температур.

8.70. На случай аварий с потерей теплоносителя следует предусматривать проектные решения, ограничивающие локальные последствия разрыва (например, биение трубы или удар реактивной струи, включая возможное возникновение взрывных волн), с тем чтобы исключить возможность функциональной недоступности более чем одного канала системы аварийного охлаждения активной зоны.

8.71. Рециркуляционные насосы системы аварийного охлаждения активной зоны следует размещать за пределами защитной оболочки (контейнмента) с целью ограничения тяжести условий окружающей среды, на которые они должны быть квалифицированы, а также облегчения проведения их технического обслуживания и ремонта.

8.72. Обеспечивая циркуляцию воды за пределами защитной оболочки (контейнмента) в случае проектных аварий, система аварийного охлаждения активной зоны дополняет функции защитной оболочки реактора (формирует третий барьер). Эта вода может быть высокорадиоактивной, например, в случае повреждения топлива; соответственно, в рекомендациях по проектированию конструктивных элементов следует предусматривать исключение с высокой степенью уверенности возможности радиоактивных выбросов (см. также рекомендации, приведенные в SSG-53 [22]).

8.73. Обеспечение надлежащей работы насосов системы аварийного охлаждения активной зоны может потребовать охлаждения их двигателей и помещений, в которых они размещены. При реализации таких вспомогательных функций следует обеспечивать уровень надежности, соответствующий их важности. Если их отказ может привести к отказу насоса за слишком короткое время, в течение которого подключить альтернативные средства охлаждения не возможно, то следует предусматривать, чтобы рекомендации по проектированию таких систем соответствовали рекомендациям, применяемым в отношении системы аварийного охлаждения активной зоны.

8.74. Для обеспечения охлаждения насосов системы аварийного охлаждения активной зоны можно предусматривать применение принципа неодинаковости (разнообразия), если выполнение с их помощью функции впрыска необходимо обеспечивать в запроектных условиях с предполагаемым отказом средств охлаждения по общей причине.

## **Расширенная система аварийного теплоотвода**

8.75. Функцией расширенной системы аварийного теплоотвода является подача воды в парогенераторы для сохранения возможности теплоотвода.

8.76. При проектировании системы аварийного теплоотвода следует обеспечивать надлежащую доступность долговременной теплопередачи для отвода остаточного тепловыделения при потере работоспособности систем нормального теплоотвода (систем основной и вспомогательной подачи питательной воды).

8.77. В составе системы аварийного теплоотвода следует предусматривать независимые каналы: пассивный (для подачи резервной аварийной питательной воды) и активный (для подачи резервной аварийной питательной воды). Следует обеспечивать, чтобы производительность каждого из активных и пассивных каналов системы аварийного теплоотвода была достаточной для поддержания необходимого запаса воды во втором контуре парогенераторов.

8.78. При проектировании активного канала системы аварийного теплоотвода и его несущих конструкций, систем и элементов следует обеспечивать, чтобы они сохраняли свою работоспособность при постулируемых исходных событиях, учитываемых на случай проектных аварий, приводящих к выходу из строя систем нормального теплоотвода.

8.79. Следует обеспечивать, чтобы активный канал системы аварийного теплоотвода, предназначенный для смягчения последствий проектных аварий, соответствовал проектным требованиям, предъявляемым к системам безопасности.

8.80. При проектировании пассивного канала системы аварийного теплоотвода и его несущих конструкций, систем и элементов следует обеспечивать, чтобы они сохраняли свою работоспособность в запроектных условиях без значительной деградации топлива.

8.81. В составе активного канала (подачи аварийной питательной воды) системы аварийного теплоотвода можно использовать насосы, на всасывающие патрубки которых поступает вода из размещаемых на площадке станции источников пресного водоснабжения, расположенных отдельно от водозабора основной системы технического водоснабжения станции. В составе активного канала системы аварийного теплоотвода

следует предусматривать аварийный источник электроснабжения с автоматическим пуском, а также соединительные трубопроводы для подачи воды на второй контур парогенераторов.

8.82. В состав пассивного канала (канала резервной аварийной питательной воды) системы аварийного теплоотвода следует включать бак резервной воды (называемый также баком воды защитной оболочки ректора или резервуаром системы заливки водой), а также соединительные клапаны (включая клапаны и трубы) для подачи воды во второй контур парогенераторов.

8.83. При проектировании бака резервной воды следует предусматривать, чтобы он представлял собою пассивную, приводимую в действие силой тяжести, легководную систему подпитки, не требующую внешнего электроснабжения для подачи ее содержимого к различным точкам назначения после открытия изолирующих (отсечных) клапанов.

8.84. Бак резервной воды следует размещать на высокой отметке в здании реакторного отделения.

8.85. Следует предусматривать, чтобы емкость бака резервной воды была достаточной для обеспечения подачи воды под действием силы тяжести на парогенераторы (в систему резервной аварийной питательной воды), в спринклерную систему защитной оболочки реактора, систему замедлителя, систему охлаждения защитного экрана и систему теплоносителя первого контура.

8.86. Следует предусматривать, чтобы активный и пассивный каналы системы аварийного теплоотвода сохраняли свою работоспособность во время сейсмических событий и после них, и поэтому при их проектировании следует обеспечивать соблюдение требований по сейсмостойкости.

8.87. При разработке проекта следует доказательно подтверждать, что работоспособность системы аварийного теплоотвода будет обеспечиваться во всех эксплуатационных состояниях и во всех аварийных условиях.

8.88. При проектировании оборудования всех средств обеспечения аварийного теплоотвода следует надлежащим образом обеспечивать сохранение им работоспособности в случае аварий классов, на которые оно рассчитано.

8.89. В проекте следует предусматривать решения, обеспечивающие возможность проведения инспекционного контроля элементов и оборудования в процессе эксплуатации, а также позволяющие выполнять эксплуатационные функциональные испытания (тестирование) систем и элементов.

8.90. Следует предусматривать, чтобы система аварийного теплоотвода обладала способностью снимать тепловые нагрузки с конструкций, систем и элементов в случае проектных аварий и при возникновении запроектных условий без значительной деградации топлива.

8.91. В SSR-2/1 (Rev. 1) [1] не предусматривается прямое требование в отношении применения критерия единичного отказа ко всем средствам обеспечения безопасности в запроектных условиях.

8.92. При необходимости следует предусматривать соответствующие источники аварийного электроснабжения (переменного или постоянного тока) для конструктивных элементов, которые необходимы для активации или функционирования средств обеспечения безопасности в запроектных условиях.

8.93. Следует предусматривать, чтобы средства обеспечения безопасности были квалифицированы для функционирования в запроектных условиях, с тем чтобы они сохраняли работоспособность в самых суровых условиях окружающей среды (включая сейсмические условия), в которых может осуществляться их эксплуатация.

8.94. Следует предусматривать возможность активации средств обеспечения безопасности в запроектных условиях в режиме ручного управления из помещения главного щита управления и в соответствующих случаях из помещения дополнительного щита управления.

8.95. Следует обеспечивать наличие в помещении главного щита управления и помещении дополнительного щита управления технологической информации и средств контроля, позволяющих управлять пассивными и активными каналами системы аварийного теплоотвода и обеспечивать надлежащий долговременный отвод остаточного тепловыделения из реактора.

8.96. В целях обеспечения целостности и надежности системы аварийного теплоотвода при ее проектировании и компоновке следует предусматривать

проектные решения, обеспечивающие возможность проведения инспекционного контроля ее основных элементов во время остановов.

8.97. Работоспособность систем естественной циркуляции следует доказательно подтверждать во всем диапазоне применимых условий эксплуатации.

8.98. В каждом конкретном случае при выполнении анализа безопасности следует проводить оценку необходимости предусматривать автоматическую активацию средств обеспечения безопасности в запроектных условиях без значительной деградации топлива.

8.99. В случаях, когда активный канал системы аварийного теплоотвода предназначается для работы в условиях проектных аварий, следует проводить анализ, доказательно подтверждающий соблюдение критериев приемлемости (приемочных критериев). Анализ следует выполнять с достаточным уровнем консерватизма, с тем чтобы доказательно подтвердить, что запасы безопасности, предусматриваемые при проектировании, обеспечивают учет неопределенностей и предотвращение пороговых эффектов.

8.100. В случаях, когда пассивный канал системы аварийного теплоотвода предназначается для работы в запроектных условиях без значительной деградации топлива, следует проводить анализ, доказательно подтверждающий соблюдение критериев приемлемости (приемочных критериев). При выполнении анализа допускается применение метода улучшенной (наилучшей) оценки.

### **Теплопередача в запроектных условиях**

8.101. Следует предусматривать проектные решения, обеспечивающие теплопередачу в запроектных условиях, посредством применения дополнительных средств обеспечения безопасности, способных поддерживать передачу остаточного тепла активной зоны конечному поглотителю тепла. Следует обеспечивать, чтобы эти средства: были независимыми, насколько это практически осуществимо, от предусмотренных в проекте средств, предназначенных для использования при более частых авариях; сохраняли способность функционирования в окружающей среде в случае возникновения запроектных условий; имели степень надежности, соответствующую предписываемой им функции.

8.102. В принципах проектирования средств обеспечения безопасности в запроектных условиях не обязательно должна применяться такая же степень консерватизма, как при их проектировании для работы в эксплуатационных состояниях и в случае проектных аварий. Вместе с тем следует обеспечивать разумную уверенность в том, что средства обеспечения безопасности, предусматриваемые для функционирования в запроектных условиях, в случае необходимости будут выполнять свои функции так, как было запроектировано.

8.103. Следует четко устанавливать правила проектирования таких дополнительных средств обеспечения безопасности в запроектных условиях, а также обеспечивать, чтобы они основывались на опыте эксплуатации, последних результатах исследований и разработок в области обеспечения безопасности, а также на современной практике проектирования.

#### **Система замедлителя в запроектных условиях без значительной деградации топлива**

8.104. Система замедлителя реактора PHWR представляет собой систему с низким давлением и низкой температурой, независимую от системы теплоносителя первого контура. Ее конструкция включает насосы и теплообменники, обеспечивающие циркуляцию тяжеловодного замедлителя через каландр и отвод тепла, выделяющегося во время работы реактора. В условиях нормальной эксплуатации и в случае проектных аварий тяжелая вода действует как замедлитель и отражатель потока нейтронов в активной зоне реактора.

8.105. В системе замедлителя следует предусматривать собственную систему охлаждения для отвода тепла от конструкций реактора, а также тепла, образующегося в системе замедлителя в процессе радиоактивного распада.

8.106. Система замедлителя выполняет функцию безопасности, которая присуща только реакторам PHWR. Систему замедлителя следует проектировать так, чтобы она действовала в качестве аварийного теплоотвода в запроектных условиях без значительной деградации топлива и в постулируемых аварийных условиях в случае аварии с большой потерей теплоносителя, совпадающей с потерей системы аварийного охлаждения активной зоны.

8.107. При проектировании системы замедлителя следует учитывать все конфигурации системы, если она рассматривается как система аварийного

теплоотвода в запроектных условиях без значительной деградации топлива. Следует предусматривать, чтобы каждая конфигурация обладала достаточной нагрузочной способностью для обеспечения независимой передачи тепла конечному поглотителю и для предотвращения повреждения труб каландра.

8.108. Путем проведения испытаний (тестирования) и соответствующего анализа следует доказательно подтверждать тепловую нагрузочную способность данной конфигурации системы замедлителя в запроектных условиях без значительной деградации топлива.

8.109. При проектировании системы замедлителя следует обеспечивать однонаправленность потоков принудительной и естественной конвекции.

8.110. Элементы, составляющие конструкцию системы замедлителя, следует проектировать и изготавливать с применением более строгих норм по сравнению с нормами, применяемыми в иных случаях, с целью сведения к минимуму возможных потерь тяжелой воды и максимального повышения уровня надежности.

8.111. Насосы замедлителя следует проектировать с применением проектных решений, обеспечивающих сохранение их работоспособности и конструктивной целостности во время и после проектного землетрясения.

8.112. При проектировании системы замедлителя следует обеспечивать ее защиту от превышения давления в результате скачков давления, возникающих в каландре из-за разрыва топливного канала или трубы каландра.

8.113. Следует предусматривать оснащение корпуса каландра устройствами защиты от превышения давления, например, разрывными мембранами или аналогичными устройствами.

8.114. Следует обеспечивать достаточную производительность средств сброса давления, с тем чтобы исключить превышение пределов, установленных для воздействия давления на конструкции, системы и элементы, предназначенные для использования в запроектных условиях без значительной деградации топлива. Следует использовать пределы, предусмотренные апробированными нормами, правилами и стандартами, применяемые для сосудов под давлением в атомной отрасли.

## **Обеспечение быстрого сброса давления в системе теплоносителя первого контура (экстренное охлаждение)**

8.115. В конструкции реакторов РНWR следует предусматривать оборудование для быстрого сброса давления в первом контуре за счет экстренного охлаждения (crash cooldown) второго контура парогенераторов (или эквивалентного контура) с использованием паросбросных клапанов.

8.116. При проектировании следует доказательно подтверждать, что во время экстренного охлаждения:

- a) во втором контуре парогенераторов поддерживается достаточное количество воды для обеспечения охлаждения и снижения давления в системе теплоносителя реактора;
- b) обеспечивается наличие запаса воды в системе теплоносителя реактора;
- c) не нарушается механизм теплопередачи в системе теплоносителя реактора (например, сифонный или регулируемый гидростатический теплоотвод).

8.117. Следует обеспечивать, чтобы экстренное охлаждение или снижение давления в системе теплоносителя реактора не приводили к возникновению проблем, связанных с реактивностью или конструкцией.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

- [1] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Безопасность атомных электростанций: проектирование. Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSR-2/1 (Rev. 1), МАГАТЭ, Вена (2016).
- [2] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности: терминология, используемая в области ядерной безопасности и радиационной защиты (издание 2018 года), МАГАТЭ, Вена (2023)
- [3] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Лидерство и менеджмент для обеспечения безопасности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 2, МАГАТЭ, Вена (2017).
- [4] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Применение системы управления для установок и деятельности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GS-G-3.1, МАГАТЭ, Вена (2009).

- [5] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Система управления для ядерных установок, № GS-G-3.5, МАГАТЭ, Вена (2014).
- [6] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Рекомендации по физической ядерной безопасности, касающиеся физической защиты ядерных материалов и ядерных установок (INFCIRC/225/Revision 5), Серия изданий МАГАТЭ по физической ядерной безопасности, № 13, МАГАТЭ, Вена (2012).
- [7] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Considerations on the Application of the IAEA Safety Requirements for the Design of Nuclear Power Plants, IAEA-TECDOC-1791, IAEA, Vienna (2016).
- [8] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ. Защита от внутренних пожаров и взрывов при проектировании атомных электростанций. Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-1.7, МАГАТЭ, Вена (2008) (готовится пересмотренный вариант этой публикации).
- [9] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Protection against Internal Hazards other than Fires and Explosions in the Design of Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-1.11, IAEA, Vienna (2004) (готовится пересмотренный вариант этой публикации).
- [10] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Учет внешних событий, исключая землетрясения, при проектировании атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-1.5, МАГАТЭ, Вена (2008) (готовится пересмотренный вариант этой публикации).
- [11] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Оценка сейсмической безопасности существующих ядерных установок, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-2.13, МАГАТЭ, Вена (2014).
- [12] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Проектирование и аттестация сейсмостойких конструкций для атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-1.6, МАГАТЭ, Вена (2008) (готовится пересмотренный вариант этой публикации).
- [13] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series No. SSG-9, IAEA, Vienna (2010) (готовится пересмотренный вариант этой публикации).
- [14] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Design of Electrical Power Systems for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. SSG-34, IAEA, Vienna (2016).
- [15] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety Classification of Structures, Systems and Components in Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. SSG-30, IAEA, Vienna (2014).
- [16] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Пределы и условия для эксплуатации и эксплуатационные процедуры для атомных электростанций, № NS-G-2.2, МАГАТЭ, Вена (2004) (готовится пересмотренный вариант этой публикации).
- [17] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Design of the Reactor Core for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. SSG-52, IAEA, Vienna (2019).

- [18] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Design of Fuel Handling and Storage Systems for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. SSG-63, IAEA, Vienna (готовится пересмотренный вариант этой публикации).
- [19] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Управление старением и разработка программы долгосрочной эксплуатации атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-48, МАГАТЭ, Вена (2023).
- [20] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Техническое обслуживание, надзор и инспекции при эксплуатации на атомных электростанциях, № NS-G-2.6, МАГАТЭ, Вена (2005) (готовится пересмотренный вариант этой публикации).
- [21] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Аспекты радиационной защиты при проектировании атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-1.13, МАГАТЭ, Вена (2008).
- [22] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Design of the Reactor Containment and Associated Systems for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. SSG-53, IAEA, Vienna (2019).
- [23] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Проектирование систем контроля и управления для атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-39, МАГАТЭ, Вена (2018).
- [24] AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III, Division 1, Rules for Construction of Pressure Vessels, ASME, New York (2013).
- [25] AFCEN, RCC-M: Design and Construction Rules for Mechanical Components of PWR Nuclear Islands, AFCEN, Paris (2019).
- [26] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of the Safety Classification of Structures, Systems and Components in Nuclear Power Plants, IAEA-TECDOC-1787, IAEA, Vienna (2016).
- [27] JAPAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, JSME Codes for Nuclear Power Generation Facilities: Rules on Design and Construction for Nuclear Power Plants, JSME, Tokyo (2015) (на японском языке).



## СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ

Baik, S.J.	Инженерно-строительная компания концерна КЕПКО, Республика Корея
Beard, J.	«Дженерал электрик — Хитати ньюклар энерджи», Соединенные Штаты Америки
Courtin, E.	АРЕВА, Франция
Филь, Н.	консультант, Российская Федерация
Gasparini, M.	консультант, Италия
Jackson, C.	Комиссия по ядерному регулированию, Соединенные Штаты Америки
Mesmous, N.	Комиссия по ядерной безопасности Канады, Канада
Myeong-Yong Ohn	Комиссия по ядерной безопасности Канады, Канада
Nakajima, T.	Управление по ядерному регулированию, Япония
Poulat, B.	Международное агентство по атомной энергии
Taniguchi, A.	Токийская электроэнергетическая компания (ТЕПКО), Япония
Toth, C.	Международное агентство по атомной энергии
Yamazaki, H.	корпорация «Тошиба», Япония
Yllera, J.	Международное агентство по атомной энергии
Yoshikawa, K.	«Хитати — Дженерал электрик ньюклар энерджи», Япония





# IAEA

Международное агентство по атомной энергии

№ 26

## ЗАКАЗ В СТРАНАХ

Платные публикации МАГАТЭ могут быть приобретены у перечисленных ниже поставщиков или в крупных книжных магазинах.

Заказы на бесплатные публикации следует направлять непосредственно в МАГАТЭ. Контактная информация приводится в конце настоящего перечня

### СЕВЕРНАЯ АМЕРИКА

#### ***Bernan / Rowman & Littlefield***

15250 NBN Way, Blue Ridge Summit, PA 17214, USA

Тел.: +1 800 462 6420 • Факс: +1 800 338 4550

Эл.почта: [orders@rowman.com](mailto:orders@rowman.com) • Сайт: <http://www.rowman.com/bernan>

### ОСТАЛЬНЫЕ СТРАНЫ

Просьба связаться с местным поставщиком по вашему выбору или с вашим основным дистрибьютером:

#### ***Eurospan Group***

Gray's Inn House

127 Clerkenwell Road

London EC1R 5DB

United Kingdom

#### ***Торговые заказы и справочная информация:***

Тел: +44 (0) 1767604972 • Факс: +44 (0) 1767601640

Эл.почта: [eurospan@turpin-distribution.com](mailto:eurospan@turpin-distribution.com)

#### ***Индивидуальные заказы:***

[www.eurospanbookstore.com/iaea](http://www.eurospanbookstore.com/iaea)

#### ***Дополнительная информация:***

Тел: +44 (0) 2072400856 • Факс: +44 (0) 2073790609

Эл.почта: [info@eurospangroup.com](mailto:info@eurospangroup.com) • Сайт: [www.eurospangroup.com](http://www.eurospangroup.com)

### **Заказы на платные и бесплатные публикации можно направлять напрямую по адресу:**

Группа маркетинга и сбыта (Marketing and Sales Unit)

Международное агентство по атомной энергии

Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria

Телефон: +43 1 2600 22529 или 22530 • Факс: +43 1 26007 22529

Эл.почта: [sales.publications@iaea.org](mailto:sales.publications@iaea.org) • Сайт: <https://www.iaea.org/ru/publikacii>



**Обеспечение безопасности с помощью международных норм**

**МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ  
ВЕНА**