

# Нормы безопасности МАГАТЭ

для защиты людей и охраны окружающей среды

## Проектирование систем обращения с топливом и его хранения на атомных электростанциях

Руководство по безопасности  
№ SSG-63



**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 СИСТЕМ  
ОБРАЩЕНИЯ С ТОПЛИВОМ  
И ЕГО ХРАНЕНИЯ НА АТОМНЫХ  
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Членами Международного агентства по атомной энергии являются следующие государства:

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

Устав Агентства был утвержден 23 октября 1956 года на Конференции по выработке Устава МАГАТЭ, которая состоялась в Центральном учреждении 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-63

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ  
ОБРАЩЕНИЯ С ТОПЛИВОМ  
И ЕГО ХРАНЕНИЯ НА АТОМНЫХ  
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ  
ВЕНА, 2025

## УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКОМ ПРАВЕ

Все научные и технические публикации МАГАТЭ защищены положениями Всемирной конвенции об авторском праве, принятой в 1952 году (Женева) и пересмотренной в 1971 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, может потребоваться разрешение. Более подробная информация приводится на странице <https://www.iaea.org/ru/publikacii/prava-i-razresheniya>. Вопросы следует направлять по адресу:

Издательская секция (Publishing Section)  
Международное агентство по атомной  
энергии  
Венский международный центр,  
а/я 100,  
A1400 Вена, Австрия  
тел.: +43 1 2600 22529 или 22530  
эл. почта: [sales.publications@iaea.org](mailto:sales.publications@iaea.org)  
<https://www.iaea.org/ru/publikacii>

© МАГАТЭ, 2025

Отпечатано МАГАТЭ в Австрии

Февраль, 2025

STI/PUB/1897

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ОБРАЩЕНИЯ С ТОПЛИВОМ И ЕГО  
ХРАНЕНИЯ НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ  
МАГАТЭ, ВЕНА, 2025 ГОД

STI/PUB/1897

ISBN 978-92-0-448823-4 (печатный формат) ISBN 978-92-0-448623-0  
(формат pdf) ISBN 978-92-0-448723-7 (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 МАГАТЭ ПО БЕЗОПАСНОСТИ

## 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 излучения, эксплуатация ядерных установок, производство, перевозка и использование радиоактивных материалов и обращение с радиоактивными отходами, должна осуществляться в соответствии с нормами безопасности.

Ответственность за регулирование в области безопасности возлагается на 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 представляют собой полезный инструмент, с помощью которого договаривающиеся стороны оценивают свою деятельность по выполнению этих конвенций.

## НОРМЫ МАГАТЭ ПО БЕЗОПАСНОСТИ

Статус норм безопасности МАГАТЭ вытекает из Устава МАГАТЭ, которым МАГАТЭ 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 радиоактивных веществ 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 ослабления 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 радиоактивного материала 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 свод требований безопасности устанавливает требования, которые должны выполняться с целью обеспечения защиты людей и охраны окружающей среды в настоящее время и в будущем. Эти требования устанавливаются в соответствии с целями и принципами, изложенными в Основах 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 конкретно 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 представлена международная надлежащая практика, и они во все большей степени отражают наилучшую практику, помогающую пользователям достичь высокого уровня безопасности. Рекомендации, содержащиеся в руководствах по безопасности, формулируются с применением глагола «следует».

## **ПРИМЕНЕНИЕ НОРМ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ**

Основными пользователями норм безопасности в государствах — членах МАГАТЭ являются 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, применяемых с целью уменьшения существующих радиационных рисков. Они могут использоваться государствами в качестве основы для национальных регулирующих положений в отношении установок и деятельности.

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

Кроме того, нормы безопасности МАГАТЭ формируют основу для услуг МАГАТЭ по рассмотрению безопасности, и они используются МАГАТЭ для повышения компетентности, включая разработку учебных планов и проведение учебных курсов.

Международные конвенции содержат требования, которые аналогичны требованиям, изложенным в нормах безопасности МАГАТЭ, и являются 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 нормы, посвященные 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, невозможно выполнять в полном объеме требования, установленные в нормах безопасности МАГАТЭ. 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 органы, отвечающие за принятие решений, должны также выносить обоснованные суждения, а также должны определять, как обеспечить оптимальный баланс между пользой от принимаемых мер или осуществляемых мероприятий и связанными с ними радиационными рисками и любыми иными негативными последствиями применения этих мер или мероприятий.

## 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), 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,



РИС. 2. Процесс разработки новых норм безопасности или пересмотр существующих норм.

видение будущего применения норм, политики и стратегий безопасности и соответствующие функции и обязанности.

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ДРУГИМИ МЕЖДУНАРОДНЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ

При разработке норм безопасности МАГАТЭ учитываются выводы Научного комитета Организации Объединенных Наций 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>). Во всех остальных случаях в издании на английском языке слова используются с написанием и значением, приведенными в последнем издании Краткого оксфордского словаря английского языка. 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, являющийся 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 не являются неотъемлемой частью основного текста. Материал в приложениях, опубликованный МАГАТЭ, не обязательно выпускается в качестве его авторского материала; в приложениях к нормам безопасности может быть представлен материал, имеющий иное авторство. Посторонний материал, публикуемый в приложениях, приводится в виде выдержек и адаптируется по мере необходимости, с тем чтобы быть в целом полезным.



## СОДЕРЖАНИЕ

1.	ВВЕДЕНИЕ .....	1
	Общие сведения (1.1–1.3) .....	1
	Цель (1.4) .....	1
	Область применения (1.5–1.10) .....	1
	Структура (1.11, 1.12) .....	3
2.	ЦЕЛИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ	4
	Система менеджмента (2.1) .....	4
	Фундаментальные функции безопасности (2.2) .....	4
	Метод проектирования (2.3–2.21) .....	4
3.	ПРОЕКТНЫЕ ОСНОВЫ КОНСТРУКЦИЙ, СИСТЕМ И ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ ТОПЛИВА .....	8
	Общие положения (3.1–3.4) .....	8
	Глубокоэшелонированная защита (3.5–3.8) .....	9
	Функции безопасности (3.9) .....	10
	Постулируемые исходные события (3.10–3.13) .....	10
	Внутренние опасности (3.14–3.33) .....	11
	Внешние опасности (3.34–3.43) .....	14
	Станционные условия, учитываемые при проектировании (3.44–3.52) .....	16
	Проектные пределы (3.53–3.58) .....	19
	Надежность (3.59–3.80) .....	21
	Конструкционная целостность (3.81–3.87) .....	25
	Классификация по безопасности (3.88–3.93) .....	26
	Аттестация на воздействие окружающей среды (3.94–3.100) .....	28
	Предотвращение критичности (3.101–3.106) .....	29
	Радиационная защита (3.107–3.112) .....	31
	Материалы (3.113–3.119) .....	32
	Мониторинг (3.120–3.128) .....	33
	Проектирование систем водоочистки для бассейна выдержки отработавшего топлива (3.129–3.135) .....	35
	Осветительное оборудование (3.136–3.140) .....	36

4.	ПРОЕКТНЫЕ ОСНОВЫ ОБОРУДОВАНИЯ И ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ОБРАЩЕНИЯ С ТОПЛИВОМ (4.1, 4.2) . . . . .	37
	Общие положения (4.3–4.6) . . . . .	38
	Функции безопасности (4.7) . . . . .	39
	Постулируемые исходные события (4.8–4.13) . . . . .	39
	Внутренние опасности (4.14) . . . . .	40
	Внешние опасности (4.15–4.18) . . . . .	40
	Проектные пределы (4.19–4.21) . . . . .	41
	Надежность (4.22–4.25) . . . . .	41
	Анализ прочности узлов, важных для безопасности (4.26–4.28) . .	42
	Специальные рекомендации по проектированию (4.29–4.48) . . . .	43
	Классификация по безопасности (4.49–4.51) . . . . .	47
	Аттестация на воздействие окружающей среды (4.52) . . . . .	47
	Радиационная защита (4.53–4.55) . . . . .	47
	Материалы (4.56–4.58) . . . . .	48
5.	ПРОЕКТНЫЕ ОСНОВЫ ОБОРУДОВАНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ДЛЯ ИНСПЕКТИРОВАНИЯ И РЕМОНТА ОБЛУЧЕННОГО ТОПЛИВА, ОБРАЩЕНИЯ С ПОВРЕЖДЕННЫМ ТОПЛИВОМ И ХРАНЕНИЯ ОБЛУЧЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АКТИВНОЙ ЗОНЫ И ОБРАЩЕНИЯ С НИМИ. . . . .	49
	Оборудование, используемое для инспектирования и ремонта облученного топлива и обращения с поврежденным топливом (5.1–5.11) . . . . .	49
	Системы хранения и обращения с облученными элементами активной зоны (5.12–5.21) . . . . .	51
6.	ОБРАЩЕНИЕ С ТОПЛИВНЫМИ КОНТЕЙНЕРАМИ (6.1) . . . . .	53
	Проектирование с целью облегчить обращение с контейнерами для отработавшего топлива (6.2–6.9) . . . . .	54
	Внешние опасности (6.10) . . . . .	55
	Транспортные средства и краны, используемые для перемещения топливных контейнеров (6.11–6.14) . . . . .	55
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ . . . . .	56

ПРИЛОЖЕНИЕ: ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ОБРАЩЕНИЯ С КОНТЕЙНЕРАМИ ДЛЯ ОТРАБОТАВШЕГО ТОПЛИВА .....	59
СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ .....	61



# 1. ВВЕДЕНИЕ

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. В настоящем Руководстве по безопасности приводятся рекомендации по выполнению требований, установленных в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSR-2/1 (Rev. 1) «Безопасность атомных электростанций: проектирование» [1], в части проектирования систем обращения с топливом и его хранения на атомных электростанциях.

1.2. Настоящее Руководство по безопасности представляет собой новую редакцию публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-1.4 «Проектирование систем для обращения с топливом и его хранения на атомных электростанциях»<sup>1</sup>, которую она заменяет.

1.3. В настоящем Руководстве по безопасности учтены уроки аварии на АЭС «Фукусима-дайти» в 2011 году, особенно в отношении применения усиленной глубоководной защиты при проектировании систем обращения с топливом и его хранения на атомных электростанциях.

## ЦЕЛЬ

1.4. Цель настоящего Руководства по безопасности — предоставить рекомендации по проектированию систем обращения с топливом и его хранения на атомных электростанциях для выполнения требований, установленных в SSR-2/1 (Rev. 1) [1] для этих систем.

## ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

1.5. Настоящее Руководство по безопасности применимо в основном к наземным стационарным атомным электростанциям с водоохлаждаемыми ректорами. Все положения применимы к легководным реакторам (т.е. реакторам с водой под давлением, кипящим реакторам) и, в общем случае, к корпусным тяжеловодным реакторам, если не оговорено иное.

---

<sup>1</sup> МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Проектирование систем для обращения с топливом и его хранения на атомных электростанциях, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-1.4, МАГАТЭ, Вена (2005).

С известной долей осмотрительности идеи, изложенные в настоящем Руководстве по безопасности, могут применяться и к реакторам других типов (например, газоохлаждаемым реакторам, реакторам малой мощности и модульным реакторам, инновационным реакторам).

1.6. Настоящее Руководство по безопасности касается аспектов проектирования систем обращения с топливом и хранения топлива, которое остается частью эксплуатационной деятельности на ядерном реакторе. С этой точки зрения настоящее Руководство по безопасности охватывает следующие этапы обращения с топливом и его хранения на атомной электростанции:

- a) прием свежего топлива;
- b) хранение и инспектирование свежего топлива перед использованием;
- c) перемещение свежего топлива в реактор;
- d) извлечение облученного топлива из реактора и перемещение облученного топлива в бассейн выдержки отработавшего топлива;
- e) повторную загрузку облученного топлива из бассейна выдержки в реактор, по мере необходимости;
- f) хранение, инспектирование и ремонт облученного или отработавшего топлива в бассейне выдержки и подготовку к извлечению такого топлива из бассейна выдержки;
- g) манипулирование с топливными контейнерами в бассейне выдержки отработавшего топлива;
- h) перемещение контейнеров с отработавшим топливом.

Системы обращения с отработавшим топливом и хранения отработавшего топлива, которое не является частью эксплуатационной деятельности на ядерном реакторе (например, системы, необходимые для промежуточного мокрого или сухого хранения), рассмотрены в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-15 (Rev. 1.71) «Storage of Spent Nuclear Fuel» («Хранение отработавшего ядерного топлива») [2].

1.7. В настоящем Руководстве по безопасности кратко рассмотрены вопросы обращения с некоторыми облученными элементами активной зоны, такими как устройства управления реактивностью, и их хранения.

1.8. Настоящее Руководство по безопасности предназначено для применения к топливу на основе диоксида урана (природного, обогащенного или переработанного урана) и топливу на основе диоксида урана, смешанного с плутонием (смешанного оксидного топлива), в металлической оболочке.

1.9. Настоящее Руководство по безопасности в основном предназначено для применения к системам обращения с топливом и его хранения на новых атомных электростанциях. В случае атомных электростанций, спроектированных по ранее действовавшим нормам, ожидается, что при оценке безопасности таких конструкций будет проводиться сравнение с современными нормами (например, в рамках переоценки безопасности станции) с целью определения того, можно ли еще больше повысить безопасность эксплуатации станции на основе внедрения практически осуществимых усовершенствований систем безопасности (см. SSR-2/1 (Rev. 1), пункт 1.3 [1]).

1.10. Термины, употребляемые в настоящем Руководстве по безопасности, следует понимать так, как они определены и объяснены в Глоссарии МАГАТЭ по вопросам безопасности [3].

## СТРУКТУРА

1.11. В разделе 2 даются общие рекомендации по проектированию систем обращения с топливом и его хранения на атомных электростанциях для выполнения требований, установленных в основном в разделах 3 и 4 SSR-2/1 (Rev. 1) [1]. В разделах 3–6 представлены конкретные рекомендации по выполнению фундаментальных функций безопасности с точки зрения общих методов проектирования и для выполнения требований, которые установлены в основном в разделах 5 и 6 SSR-2/1 (Rev. 1) [1]. В разделах 3 и 4 даются конкретные рекомендации по безопасному проектированию систем хранения топлива и систем обращения с топливом, соответственно. В разделе 5 приводятся конкретные рекомендации по безопасному проектированию оборудования, используемого для инспектирования и ремонта облученного топлива, а также для обращения с поврежденным топливом. В разделе 5 также даются конкретные рекомендации по безопасному проектированию систем обращения с облученными элементами активной зоны и их хранения. В разделе 6 представлено руководство по проектированию оборудования для манипулирования с контейнерами для отработавшего топлива в бассейне выдержки отработавшего топлива.

1.12. В приложении дается описание некоторых эксплуатационных аспектов обращения с контейнерами для отработавшего топлива.

## **2. ЦЕЛИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

### **СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА**

2.1. Проектирование систем обращения с топливом и его хранения должно проводиться в соответствии с требованиями 1–3 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] и требованиями, установленными в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 2 «Лидерство и менеджмент для обеспечения безопасности» [4]. Кроме того, следует принимать во внимание рекомендации, содержащиеся в публикациях Серии норм безопасности МАГАТЭ, № GS-G-3.1 «Применение системы управления для установок и деятельности» [5] и GS-G-3.5 «Система управления для ядерных установок» [6].

### **ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ БЕЗОПАСНОСТИ**

2.2. В соответствии с требованием 4 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] в проекте следует определять конструкции, системы и элементы для обращения с топливом и его хранения, которые необходимы для выполнения следующих фундаментальных функций безопасности во всех состояниях станции:

- a) поддержание подкритичности топлива;
- b) отвод остаточного тепловыделения от облученного топлива;
- c) локализация радиоактивного материала, защита от излучения, а также ограничение аварийных радиоактивных выбросов.

### **МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

#### **Поддержание подкритичности топлива**

2.3. В пунктах 2.4–2.6 рассматриваются требования, содержащиеся в пункте 6.66 (a) SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

2.4. Системы обращения и хранения требуется проектировать таким образом, чтобы предотвращать критичность за счет поддержания заданных запасов подкритичности во всех эксплуатационных состояниях и аварийных условиях.

2.5. Системы хранения разрешенного топлива<sup>2</sup> следует проектировать таким образом, чтобы предотвращать возникновение критичности, предпочтительно за счет использования геометрически безопасных конфигураций.

2.6. При проектировании систем хранения топлива следует рассмотреть возможность использования физических средств или физических процессов для повышения запасов подкритичности при нормальной эксплуатации, чтобы не допустить возникновения критичности во время постулируемых исходных событий, включая постулируемые исходные события, которые являются следствием внутренних или внешних опасностей.

### **Отвод остаточного тепловыделения от облученного топлива**

2.7. В соответствии с пунктом 6.67 (a) SSR-2/1 (Rev. 1) [1] системы обращения с топливом и его хранения должны проектироваться с таким расчетом, чтобы обеспечивать достаточный отвод тепла от облученного топлива. Соответственно, эти системы следует проектировать таким образом, чтобы не допускать превышения температурных пределов оболочки топлива и/или температурных пределов теплоносителя, определенных для эксплуатационных состояний и аварийных условий.

### **Локализация радиоактивного материала и ограничение радиоактивных выбросов**

2.8. В пунктах 2.9–2.11 содержатся рекомендации по выполнению требований 5 и 80 SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

2.9. В проекте должны быть предусмотрены средства для предотвращения повреждения топлива (твэлов и сборок) в процессе обращения (см. пункт 6.66 (d) SSR-2/1 (Rev. 1) [1]). Кроме того, в проекте следует предусмотреть средства для сбора и фильтрации радиоактивного материала из хранилища отработавшего топлива, с тем чтобы поддерживать выбросы радиоактивности на разумно достижимом низком уровне в эксплуатационных состояниях.

2.10. По мере необходимости следует устанавливать системы вентиляции для снижения концентраций радиоактивных аэрозолей и для

---

<sup>2</sup> Под разрешенным топливом понимаются конкретный тип или типы топлива, лицензированные для использования в системах обращения и хранения.

предотвращения или снижения прямого облучения или загрязнения в зонах радиационной опасности (см. требование 73 SSR-2/1 (Rev. 1) [1]).

2.11. В проекте следует предусмотреть средства для сбора и фильтрации выброшенного радиоактивного материала и для предотвращения оголения облученных тепловыделяющих сборок в бассейне выдержки отработавшего топлива в аварийных условиях.

### **Защита от излучения**

2.12. В пунктах 2.13 и 2.14 даются рекомендации по выполнению требований 5 и 81 SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

2.13. Следует обеспечить, чтобы оборудование для обращения с топливом и системы хранения топлива были оснащены защитой, необходимой для удержания доз профессионального облучения в эксплуатационных состояниях на разумно достижимом низком уровне.

2.14. При необходимости в проекте следует предусмотреть средства для предотвращения потери защиты от облученного топлива, создающего высокие дозы облучения для работников в эксплуатационных состояниях и аварийных условиях (см. также SSR-2/1 (Rev. 1), пункт 2.11 [1]).

### **Взаимосвязь безопасности с физической безопасностью и гарантиями**

2.15. Для выполнения требования 8 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] узлы, важные для безопасности с точки зрения обращения с топливом и его хранения следует проектировать на основе комплексного учета аспектов безопасности и физической ядерной безопасности таким образом, чтобы принимаемые меры безопасности не ставили под угрозу физическую ядерную безопасность, а меры физической ядерной безопасности не ставили под угрозу безопасность. Меры физической ядерной безопасности должны соответствовать цели и основным элементам, указанным в публикации Серии изданий МАГАТЭ по физической ядерной безопасности, № 20 «Цели и основные элементы государственного режима физической ядерной безопасности» [7], а также рекомендациям, представленным в публикации Серии изданий МАГАТЭ по физической ядерной безопасности, № 13 «Рекомендации по физической ядерной безопасности, касающиеся физической защиты ядерных материалов и ядерных установок (INFCIRC/225/Revision 5)» [8].

2.16. Следует также обеспечить, чтобы конструкция систем обращения с топливом и его хранения облегчала применение и поддержание режима гарантий МАГАТЭ, а также государственной системы учета и контроля ядерного материала.

### **Апробированная инженерно-техническая практика**

2.17. Для выполнения требования 9 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] узлы, важные для безопасности с точки зрения обращения с топливом и его хранения, следует проектировать таким образом, чтобы их конструктивное решение было апробировано либо в аналогичных применениях на основе опыта эксплуатации, либо результатами соответствующей программы исследований. В ином случае следует обеспечить, чтобы такие узлы соответствовали проекту и процессам его верификации и валидации, предусмотренным в применимых нормах и правилах.

### **Оценка безопасности в процессе проектирования**

2.18. Для выполнения требования 10 и положений пункта 4.17 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] требуется проводить оценку безопасности систем обращения с топливом и его хранения в ходе процесса проектирования с повторением этой оценки на разных этапах процесса проектирования и анализа безопасности и с возрастанием объема и уровня детализации по мере продвижения проекта. Рекомендации по проведению детерминистической оценки безопасности представлены в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-2 (Rev. 1) «Детерминистический анализ безопасности атомных электростанций» [9], а рекомендации по вероятностной оценке безопасности — в публикациях Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-3 «Разработка и применение вероятностной оценки безопасности уровня 1 для атомных электростанций» [10] и № SSG-4 «Разработка и применение вероятностной оценки безопасности уровня 2 для атомных электростанций» [11].

### **Прочие соображения**

2.19. В дополнение к безопасному хранению топлива также требуется обеспечить, чтобы системы обращения с топливом и его хранения облегчали выполнение следующих видов деятельности (см. пункты 6.66 и 6.67 SSR-2/1 (Rev. 1) [1]):

- а) инспектирование топлива (твэлов и тепловыделяющих сборок);

- b) техническое обслуживание, периодическое инспектирование, калибровка и проверка узлов, важных для безопасности;
- c) идентификация отдельных тепловыделяющих сборок;
- d) меры по выполнению процедур учета и контроля ядерного топлива;
- e) дезактивация зон, техническое обслуживание и будущий вывод из эксплуатации.

2.20. Для выполнения требования 12 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] в проекте следует предусмотреть средства для сведения к минимуму возможности образования радиоактивных эфлюентов и отходов во время нормальной эксплуатации.

2.21. При проектировании конструкций, систем и элементов систем обращения с топливом и его хранения следует учитывать влияние облучения.

### **3. ПРОЕКТНЫЕ ОСНОВЫ КОНСТРУКЦИЙ, СИСТЕМ И ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ ТОПЛИВА**

#### **ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

3.1. В контексте настоящего Руководства по безопасности узлы, важные для безопасности, включают в себя конструкцию бассейна выдержки, облицовку бассейна выдержки, системы охлаждения бассейна выдержки, системы очистки бассейна выдержки, системы подпитки, шлюзы и стеллажи для хранения топлива.

3.2. Узлы, важные для безопасности, необходимо проектировать в соответствии с требованием 80 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] и с учетом требований 14–28 SSR-2/1 (Rev. 1) [1], касающихся:

- a) защиты работников, населения и окружающей среды от вредного воздействия ионизирующих излучений в эксплуатационных состояниях и аварийных условиях;
- b) достаточной надежности различных систем;
- c) недопущения возникновения на площадке полей высокого излучения и практического исключения аварийных условий, которые могут привести к радиоактивному выбросу на ранней стадии или крупному радиоактивному выбросу.

3.3. Для выполнения требования 14 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] в проектных основах узлов, важных для безопасности, следует учесть следующее:

- a) функцию(и) безопасности, которую(ые) выполняют данные узлы или выполнению которой(ых) они способствуют;
- b) постулируемые исходные события, которые должны выдерживать узлы;
- c) защиту от воздействия внутренних и внешних опасностей;
- d) классификацию по безопасности;
- e) проектные пределы или критерии приемлемости;
- f) правила технического проектирования узлов;
- g) рекомендуемые средства контроля и управления;
- h) защиту от отказов по общей причине;
- i) условия окружающей среды, учитываемые в программе аттестации;
- j) выбор материалов.

3.4. В проекте следует определить необходимые средства и устройства, облегчающие использование непостоянного оборудования для восстановления безопасных условий в хранилище топлива в случае множественных отказов, не учтенных в проектных основах. Это предполагает использование фланцев и муфт для подсоединения передвижного оборудования.

## ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННАЯ ЗАЩИТА

3.5. В пунктах 3.6–3.8 приведены рекомендации по выполнению требования 7 SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

3.6. В проект систем бассейна выдержки отработавшего топлива следует включать множественные средства отвода остаточного тепловыделения облученного топлива и поддержания запасов подкритичности во всех состояниях станции, учтенных в проекте.

3.7. Применение концепций резервирования, неодинаковости и функциональной независимости следует определять с учетом положений пункта 3.8. Совместное применение принципов резервирования, неодинаковости и независимости для различных средств охлаждения должно быть достаточным для демонстрации того, что пределы температуры теплоносителя, определенные для эксплуатационных состояний и

аварийных условий, не превышаются и что оголение тепловыделяющих сборок предотвращается с высокой степенью уверенности.

3.8. Следует определять потенциал отказов по общей причине для средств отвода остаточного тепловыделения, а также оценивать последствия таких отказов. В случаях, которые могут привести к оголению тепловыделяющих сборок или приостановке отвода остаточного тепловыделения, следует в максимально возможной степени устранять выявленные уязвимости посредством применения принципов неодинаковости и резервирования.

## ФУНКЦИИ БЕЗОПАСНОСТИ

3.9. Функции безопасности, выполняемые системами обращения с топливом и его хранения, а также роль каждой из основных конструкций и элементов в выполнении этих функций следует описывать с такой степенью детальности, которой будет достаточно для определений проектных основ данных конструкций, систем и элементов.

## ПОСТУЛИРУЕМЫЕ ИСХОДНЫЕ СОБЫТИЯ

3.10. В пунктах 3.11–3.13 приведены рекомендации по выполнению требования 16 SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

3.11. При хранении отработавшего топлива наличие достаточного запаса теплоносителя в зоне хранения топлива имеет важнейшее значение для выполнения фундаментальных функций безопасности по отводу остаточного тепловыделения и радиационной защите и может способствовать поддержанию запасов подкритичности. Таким образом, возможность значительной потери теплоносителя следует считать важным соображением при идентификации постулируемых исходных событий.

3.12. В число постулируемых исходных событий, относящихся к проектированию систем хранения топлива, следует включать такие события, которые потенциально ведут к уменьшению запаса подкритичности, снижению потенциала для отвода остаточного тепловыделения, значительному выбросу радиоактивного материала или значительному прямому радиационному облучению эксплуатационного персонала. Постулируемые исходные события являются следствием отказов оборудования, ошибок оператора, внутренних опасностей или внешних

опасностей. Типичные примеры постулируемых исходных событий приведены в пунктах 3.50 и 3.52.

3.13. Следует определять граничные случаи, связанные с постулируемыми исходными событиями, для установления необходимых эксплуатационных возможностей оборудования, призванного смягчить их последствия (см. SSR-2/1 (Rev. 1), пункт 5.9 [1]).

## ВНУТРЕННИЕ ОПАСНОСТИ

3.14. В пунктах 3.15–3.33 представлены рекомендации по выполнению требования 17 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] в отношении внутренних опасностей.

3.15. Узлы, важные для безопасности, следует проектировать таким образом, чтобы они выдерживали нагрузки, создаваемые внутренними опасностями, или были защищены от их воздействия (см. SSR-2/1 (Rev. 1), пункт 5.15A [1]). Кроме того, в проекте следует учитывать последствия отказа незащищенного оборудования.

3.16. Резервные элементы систем обращения с топливом и его хранения следует в максимально возможной степени разносить или надлежащим образом разделять и защищать, насколько это необходимо, для предотвращения потери функции безопасности, выполняемой этими системами (например, для предотвращения отказов по общей причине, вызванных воздействием внутренних опасностей).

3.17. Воздействие единичной опасности не должно приводить к полной утрате охлаждающей способности систем хранения отработавшего топлива.

3.18. Здание хранилища следует проектировать таким образом, чтобы оно выдерживало нагрузки, создаваемые опасностями, которые возникают внутри площадки станции (такими как взрывы, внутренние летящие предметы).

3.19. В применяемых методах проектирования и строительных нормах и правилах следует предусматривать достаточные запасы с целью не допустить возникновения пороговых эффектов, если тяжесть внутренней опасности несколько превысит пределы, установленные в проектных основах.

3.20. Для идентификации соответствующих опасностей и разработки надлежащих методов защиты оборудования от них следует принять во внимание рекомендации, приведенные в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-64 «Protection against Internal Hazards in the Design of Nuclear Power Plants» («Защита от внутренних опасностей при проектировании атомных электростанций») [12].

3.21. Типичные примеры внутренних опасностей, влияющих на проектирование систем обращения с топливом и его хранения, приведены в пунктах 3.22–3.33.

### **Падение тяжелых грузов**

3.22. В проекте требуется учитывать возможность падения тяжелых грузов с повреждением хранящегося топлива или иным воздействием на выполнение фундаментальных функций безопасности (см. SSR-2/1 (Rev. 1), пункт 6.67 (d) [1]). Падение предметов является в первую очередь следствием отказов компонентов и ошибок эксплуатационного персонала во время операций по обращению с топливом.

3.23. Ввиду частоты операций по обращению с топливом следует учитывать возможность падения тепловыделяющей сборки в любой зоне, пересекаемой во время манипулирования с ней. Падение грузов в зоне хранения топлива может также произойти во время движения герметичных шлюзных ворот, перемещения инструментов и монтажа или демонтажа стеллажей для хранения топлива.

3.24. Очень тяжелые предметы, связанные с операциями по перегрузке топлива (например, крышка корпуса реактора, активированные внутренние конструкции реактора) и операциями по перемещению топлива или загрузке контейнеров для хранения, следует исключать из рассмотрения, поскольку опасности в зоне хранения топлива с высокой долей вероятности предотвращаются за счет планировки зон перегрузки, хранения топлива и загрузки контейнеров, а также тщательного проектирования оборудования для обращения с топливом.

3.25. Проект и компоновку систем обращения с топливом и его хранения следует сделать такими, чтобы за счет пространственного разнесения исключалось перемещение тяжелых предметов над зонами хранения топлива, а также предотвращались косвенные последствия за счет конструкционной независимости зоны хранения топлива и конструкции

водослива или других сооружений с целью предотвращения значительной потери теплоносителя в случае падения тяжелых грузов, которые повредят конструкции в прилегающих зонах.

### **Внутреннее затопление в зонах сухого хранения свежего топлива**

3.26. В проекте и схеме планировки зон сухого хранения свежего топлива следует предусмотреть защиту от внутреннего затопления, например посредством установки барьеров для защиты от затопления, прокладки водопроводов через участки, изолированные от хранилища топлива, и устройства соответствующих дренажных систем для того, чтобы обеспечить запасы подкритичности.

### **Разрывы трубопроводов**

3.27. Оборудование, которое выполняет фундаментальную функцию безопасности следует защищать от воздействия разрывов трубопроводов с высоким и средним уровнем напора.

3.28. Следует избегать значительной потери теплоносителя из систем хранения отработавшего топлива из-за разрыва трубопровода благодаря обеспечению того, чтобы все проходки в зоне хранения топлива находились выше отметки, необходимой для достаточной защиты зоны бассейна хранения отработавшего топлива (см. SSR-2/1 (Rev. 1), пункт 6.68 [1]).

### **Пожары**

3.29. Следует выполнить рекомендации, приведенные в SSG-64 [12], для уменьшения вероятности возникновения пожара, ограничения распространения пожара, защиты узлов, важных для безопасности, и предотвращения утраты фундаментальных функций безопасности. В пунктах 3.30–3.32 представлены рекомендации применительно к хранению топлива.

3.30. При хранении отработавшего топлива разные средства охлаждения и каждую резервную секцию системы охлаждения следует размещать в отдельных пожарных отсеках, или по крайней мере следует обеспечить, чтобы каждое из них представляло собой отдельную пожарную секцию, если устройство отдельных пожарных отсеков невозможно.

3.31. Для защиты от пожара зоны сухого хранения свежего топлива следует располагать внутри пожарных отсеков.

3.32. Следует учитывать воздействие огнетушащих веществ на подкритичность свежего топлива при сухом хранении. При мокром хранении как свежего, так и облученного топлива следует также учитывать, воздействие огнетушащих веществ на подкритичность системы (например, когда неборированная вода поступает в борированную воду).

## **Взрывы**

3.33. Если образование водорода считается опасным фактором, то в проекте следует предусмотреть специальные средства для предотвращения образования водорода или ограничения концентрации водорода (например, обеспечив совместимость материала с водно-химическим составом охладителя бассейна выдержки отработавшего топлива или предусмотрев вентиляцию). Такие средства должны обеспечить поддержание концентрации водорода на безопасном уровне, т.е. ниже пределов воспламеняемости, в том числе в местах, где может присутствовать более высокая концентрация водорода.

## **ВНЕШНИЕ ОПАСНОСТИ**

3.34. В пунктах 3.35–3.43 представлены рекомендации по выполнению требования 17 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] в отношении внешних опасностей.

3.35. Для понимания общей концепции идентификации соответствующих внешних опасностей и защиты конструкций, систем и элементов от воздействия этих опасностей следует принять во внимание рекомендации, приведенные в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-68 «Design of Nuclear Installations against External Events Excluding Earthquakes» («Проектирование ядерных установок с учетом внешних событий, исключая землетрясения») [13].

3.36. При хранении топлива узлы, важные для безопасности, которые предназначены для выполнения фундаментальных функций безопасности, требуется защищать от отдельных внешних опасностей или проектировать таким образом, чтобы они противостояли их воздействию (см. SSR-2/1, пункт 5.15A (Rev. 1) [1]).

3.37. Защиту систем хранения топлива от воздействия внешних опасностей следует обеспечивать в первую очередь на основе надлежащей планировки и конструкции зданий на площадке.

3.38. Для каждой опасности или вероятного сочетания опасностей следует определить и конкретизировать конструкции, системы и элементы, работоспособность и/или целостность которых необходимо поддерживать во время или после возникновения опасности. В тех случаях, когда защита, обеспечиваемая планировкой или конструкцией зданий, недостаточна, конструкции, системы и элементы следует проектировать таким образом, чтобы они выдерживали нагрузки, создаваемые опасностями и их вероятными сочетаниями.

3.39. При хранении топлива узлам, важным для безопасности, следует присваивать соответствующие сейсмические категории согласно рекомендациям, приведенным в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-67 «Seismic Design for Nuclear Power Plants» («Проектирование сейсмостойких атомных электростанций») [14]. Конструкции, системы и элементы, необходимые для выполнения функций безопасности, следует проектировать на устойчивость к сейсмическим нагрузкам SL-2, а также следует предусмотреть средства для их защиты от воздействия таких нагрузок на другое оборудование.

3.40. Технические условия сейсмостойкого проектирования узлов, важных для безопасности, следует устанавливать исходя из последствий потенциального повреждения тепловыделяющих сборок, находящихся на хранении, выброса радиоактивного материала в здание и необходимости эксплуатации систем хранения во время и после землетрясения. В проекте хранилища отработавшего топлива, подготовленном для аттестации на сейсмическую безопасность, следует учитывать возможность уменьшения объема теплоносителя из-за расплескивания и снижения запасов подкритичности из-за возможного смещения твердых поглотителей нейтронов.

3.41. Что касается хранения отработавшего топлива, то при внешних опасностях краткосрочные действия, необходимые для поддержания достаточного запаса теплоносителя и надлежащего охлаждения топлива, следует предпринимать с использованием станционного оборудования. Только долгосрочные действия следует предпринимать с использованием оборудования или служб, находящихся за пределами площадки.

3.42. В методах проектирования и строительных нормах и правилах следует предусматривать надлежащие запасы с целью недопущения возникновения пороговых эффектов при незначительном увеличении тяжести внешних опасностей.

3.43. Следует обеспечивать сохранение целостности конструкций и работоспособности систем и элементов в случае природных опасностей, приводящих к нагрузкам, превышающим те, которые определены в оценке опасности на площадке. В случае хранения топлива следует предотвращать возникновение критичности и высокие дозы облучения, а также сохранять способность к охлаждению облученного топлива.

## СТАНЦИОННЫЕ УСЛОВИЯ, УЧИТЫВАЕМЫЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

### **Вместимость хранилища топлива**

3.44. Вместимость хранилища отработавшего топлива следует проектировать в соответствии с политикой в области обращения с топливом с указанием расчетной вместимости и конкретных мест расположения помещаемых на хранение тепловыделяющих сборок. Хранилище отработавшего топлива следует сделать достаточно вместительным для того, чтобы могло пройти достаточно времени для радиоактивного распада и отвода остаточного тепловыделения, прежде чем отработавшее топливо будет извлечено из бассейна выдержки отработавшего топлива. При расчете максимальной вместимости хранилища следует учитывать наличие лицензированных внереакторных хранилищ отработавшего топлива и минимальное время, необходимое для радиоактивного распада и охлаждения, прежде чем топливо будет перемещено. Следует как минимум обеспечить, чтобы хранилище позволяло разместить все тепловыделяющие сборки, которые планируется выгрузить (в соответствии с политикой обращения с топливом), а также имело дополнительные места хранения для выгрузки содержимого одной полной активной зоны. В случае смешанного оксидного топлива следует принимать во внимание более высокие значения остаточного тепловыделения, которые могут еще больше отсрочить момент перемещения отработавшего топлива в контейнеры для хранения.

## **Нормальная эксплуатация**

3.45. Следует обеспечить, чтобы при нормальной эксплуатации фундаментальные функции безопасности выполнялись без превышения пределов и граничных условий, установленных для нормальной эксплуатации в отношении запаса подкритичности, температуры теплоносителя и профессионального облучения (включая уровни излучения и уровни активности аэрозолей в рабочей зоне).

3.46. Остаточное тепловыделение следует отводить с помощью специальной системы охлаждения, предназначенной для поддержания температуры теплоносителя ниже максимальной температуры, установленной для нормальной эксплуатации.

3.47. При проектировании систем хранения отработавшего топлива следует предусмотреть и иметь в наличии надлежащие средства для:

- a) поддержания активности теплоносителя и водно-химического режима теплоносителя в рамках спецификаций, установленных для нормальной эксплуатации;
- b) компенсации потерь теплоносителя за счет испарения;
- c) сбора радиоактивных газов, потенциально выделяющихся из дефектных ТВЭЛОВ;
- d) поддержания надлежащей чистоты теплоносителя для операций по обращению с топливом;
- e) мониторинга и контроля температуры теплоносителя и уровня теплоносителя;
- f) мониторинга и контроля активности аэрозолей.

3.48. Вентиляцию и кондиционирование воздуха для системы хранения отработавшего топлива следует проектировать в соответствии с пунктом 6.48 SSR-2/1 (Rev. 1) [1]). Рекомендации по проектированию систем вентиляции и кондиционирования воздуха содержатся в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-62 «Design of Auxiliary Systems and Supporting Systems for Nuclear Power Plants» («Проектирование систем собственных нужд и вспомогательных систем атомных электростанций») [15].

## **Ожидаемые при эксплуатации события**

3.49. Следует оговорить ожидаемые при эксплуатации события для определения проектных средств, необходимых для поддержания запасов

подкритичности, условий охлаждения и объема теплоносителя в пределах, установленных для ожидаемых при эксплуатации событиях.

3.50. Типичные примеры<sup>3</sup> постулируемых исходных событий, которые, судя по частоте их возникновения и радиологическим последствиям, могут привести к ожидаемым при эксплуатации событиям, включают следующее:

- a) отказ внешнего электроснабжения;
- b) потерю теплоносителя (малые течи) в системе охлаждения и фильтрации и/или очистки, а также через изоляцию задвижек;
- c) потерю расхода охлаждающей воды или (в случае реакторов с водой под давлением) разбавление растворимых поглотителей нейтронов;
- d) неисправность системы охлаждения топлива во время нормальной эксплуатации;
- e) аномальные конфигурации тепловыделяющих сборок с одной смещенной или упавшей сборкой (без повреждения оболочки) на стеллаже хранения топлива.

### **Аварийные условия**

3.51. Следует постулировать вероятные отказы оборудования, которые приведут к возникновению более тяжелых условий, чем ожидаемые при эксплуатации события (т.е. в отношении фундаментальных функций безопасности, установленных в пункте 2.2).

3.52. Следует принять во внимание единичные и множественные отказы оборудования, с тем чтобы определить условия проектных аварий и запроектные условия, соответственно. Типичные примеры<sup>4</sup> таких отказов, которые следует учитывать, включают следующее:

- a) проектные аварии:
  - i) значительную потерю теплоносителя (например, разрывы трубопроводов, соединенных с бассейном выдержки отработавшего топлива);
  - ii) отказ системы охлаждения, используемой при нормальной эксплуатации;

---

<sup>3</sup> Примеры зависят от проекта и могут не учитываться в некоторых государствах-членах.

<sup>4</sup> Примеры зависят от проекта и могут не учитываться в некоторых государствах-членах.

- iii) аномальные конфигурации тепловыделяющих сборок (например, сборка, не помещенная в расчетное место хранения, и упавшая облученная тепловыделяющая сборка с повреждением оболочки);
  - iv) значительное изменение условий замедления в хранилище топлива (например, сильное разбавление растворимого поглотителя нейтронов (только в случае реакторов с водой под давлением) в зоне мокрого хранения или затопление зоны сухого хранения);
- b) запроектные условия:
- i) множественные отказы, ведущие к потере системы принудительного охлаждения на длительный период времени;
  - ii) сочетания отказов, выбранные на основе вероятностных оценок риска (например, сочетание ожидаемых при эксплуатации событий или постулируемых аварий с отказом по общей причине, влияющим на систему, предназначенную для смягчения воздействия рассматриваемого события).

## ПРОЕКТНЫЕ ПРЕДЕЛЫ

3.53. В пунктах 3.54–3.58 приведены рекомендации по выполнению требований 15 и 28 SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

3.54. Следует обеспечить, чтобы работоспособность конструкций, систем и элементов хранилища отработавшего топлива удовлетворяла критериям приемлемости, установленным для различных эксплуатационных состояний и аварийных условий.

3.55. Следует стремиться к тому, чтобы напряжения, вызываемые сочетаниями нагрузок, не превышали пределов напряжений, определенных в нормах проектирования конструкций, систем и элементов.

3.56. Необходимо предотвращать возникновение критичности с установленными запасами во всех эксплуатационных состояниях и

аварийных условиях (см. SSR-2/1 (Rev. 1), пункт 6.66 (а) [1]). Примеры положительной практики<sup>5</sup> включают следующее:

- а) в случае сухого хранения свежего топлива эффективный коэффициент размножения, рассчитанный для оптимальных условий замедления, не должен превышать значений, указанных в национальных регулирующих документах (например, 0,95–0,98, включая неопределенности);
- б) в случае мокрого хранения облученного топлива расчетный эффективный коэффициент размножения не должен превышать 0,95 при нормальной эксплуатации и не должен превышать значений, указанных в национальных регулирующих документах (например, 0,95–0,98, включая неопределенности) при ожидаемых при эксплуатации событиях и в аварийных условиях.

3.57. В случае мокрого хранения облученного топлива следует поддерживать надлежащий запас теплоносителя над облученными тепловыделяющими сборками с целью защиты во всех эксплуатационных состояниях и аварийных условиях с соблюдением следующих правил:

- а) при мокром хранении облученного топлива следует обеспечить, чтобы уровень воды в бассейне выдержки был достаточным для радиационной защиты эксплуатационного персонала во время операций по обращению с топливом с таким расчетом, чтобы дозы облучения такого персонала оставались ниже дозовых пределов и удерживались на разумно достижимом низком уровне при нормальной эксплуатации и при ожидаемых при эксплуатации событиях;
- б) при аварийных условиях следует поддерживать значительный запас теплоносителя для обеспечения радиационной защиты.

3.58. В случае мокрого хранения облученного топлива следует обеспечивать достаточный отвод остаточного тепловыделения, чтобы поддерживать температуру бассейна выдержки отработавшего топлива на приемлемых уровнях для эксплуатационного персонала и для системы очистки нормальной эксплуатации для всех условий нормальной эксплуатации, включая нагрузки, связанные с высоким остаточным тепловыделением в результате перегрузки топлива. В случае ожидаемых при эксплуатации событий способность к отводу остаточного тепловыделения следует незамедлительно восстановить, с тем чтобы вернуть температуру

---

<sup>5</sup> Примеры зависят от проекта и могут не учитываться в некоторых государствах-членах.

бассейна к нормальным условиям эксплуатации без достижения условий кипения. При аварийных условиях следует поддерживать достаточный отвод тепловыделения при помощи средств естественной безопасности, посредством эксплуатации активных или пассивных систем или сочетания средств безопасности с активными и пассивными системами для следующих целей:

- а) поддержание принудительного охлаждения при проектных авариях и запроектных условиях; или
- б) поддержание принудительного охлаждения при проектных авариях и удаление испарившегося теплоносителя в атмосферу для отвода тепловыделения, дополненное гравитационным потоком питательной воды для компенсации потери теплоносителя в результате испарения при запроектных условиях.

## НАДЕЖНОСТЬ

3.59. В пунктах 3.60–3.80 приведены рекомендации по выполнению требований 18, 21–26, 29, 30 и 80 SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

3.60. Для выполнения требований, установленных в пункте 5.37 SSR-2/1 (Rev. 1) [1], узлы, важные для безопасности хранения отработавшего топлива, должны проектироваться таким образом, чтобы они могли с достаточной надежностью и эффективностью выдерживать все условия, указанные в их проектных основах.

3.61. Как указано в пункте 6.68 SSR-2/1 (Rev. 1) [1], проект систем хранения отработавшего топлива должен быть таким, чтобы «практически исключить» возможность возникновения условий, которые могут привести к радиоактивному выбросу на ранней стадии или крупному радиоактивному выбросу и не допускать возникновения на площадке полей высокого излучения».

3.62. Следует обеспечить, чтобы надежность различных средств, предназначенных для эксплуатации в разных состояниях станции, была соразмерна важности выполняемых ими функций с точки зрения безопасности.

3.63. На надежность влияют несколько факторов, и каждый из этих факторов следует учитывать для того, чтобы обеспечить надлежащую надежность различных систем, необходимых для отвода остаточного тепловыделения

из хранилища отработавшего топлива и поддержания надлежащего запаса теплоносителя в бассейне выдержки. К этим факторам относятся:

- a) классификация по безопасности и соответствующие инженерно-технические правила проектирования и изготовления отдельных конструкций, систем и элементов;
- b) проектные критерии, относящиеся к системам (количество резервных групп, аттестация на сейсмостойкость, аттестация на работу в неблагоприятных условиях окружающей среды, электроснабжение);
- c) уязвимости к отказам по общей причине и соответствующие проектные средства (например, за счет неодинаковости, разделения и независимости);
- d) меры планировки для защиты систем от воздействия внутренних и внешних опасностей;
- e) проектные средства мониторинга, инспектирования, испытаний и технического обслуживания.

3.64. Для нормальной эксплуатации, ожидаемых при эксплуатации событий и аварийных условий средства отвода остаточного тепловыделения следует проектировать с учетом максимальных тепловых нагрузок и максимальной температуры поглотителя тепла.

3.65. Для выполнения требования 18 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] следует применять методы, обеспечивающие надежность проекта систем хранения топлива. Для всех идентифицированных классов безопасности следует оговаривать и применять соответствующие инженерно-технические правила проектирования. К ним относятся:

- a) использование соответствующих норм и правил;
- b) апробированная инженерно-техническая практика;
- c) консервативные запасы безопасности;
- d) аттестация.

### **Надежность при эксплуатационных состояниях**

3.66. Следует обеспечить, чтобы шлюзы, отделяющие бассейны выдержки отработавшего топлива от других бассейнов или секций, были водонепроницаемыми при нормальной эксплуатации и ожидаемых при эксплуатации событиях.

3.67. Следует предусмотреть средства для выявления, локализации, изоляции и сбора любой течи воды сквозь металлическую облицовку бассейна. Следует иметь в распоряжении средства для устранения малых течей сквозь металлическую облицовку.

3.68. Систему охлаждения, работающую при нормальной эксплуатации, следует проектировать с таким расчетом, чтобы она поддерживала температуру теплоносителя ниже максимальной температуры, заданной для нормальной эксплуатации, даже если элементы системы недоступны из-за проведения работ по техническому обслуживанию.

3.69. Систему охлаждения следует проектировать с таким расчетом, чтобы она поддерживала температуру теплоносителя ниже максимальной температуры, заданной для ожидаемых при эксплуатации событий в случае потери внешнего электроснабжения.

### **Надежность при аварийных условиях**

3.70. Систему(ы), необходимую(ые) для отвода остаточного тепловыделения при проектных авариях, следует проектировать таким образом, чтобы она(и) соответствовала(и) критерию единичного отказа.

3.71. Следует предусмотреть систему принудительного охлаждения с аварийным источником электроснабжения для отвода остаточного тепловыделения при проектных авариях.

3.72. Единичный отказ оборудования или разрыв трубопровода принудительной системы охлаждения не должен приводить к полной потере функции принудительного охлаждения.

3.73. Следует применять средства (например, изолирующие клапаны, противооткачивающие устройства) для сведения к минимуму потери теплоносителя в случае разрыва трубопровода.

3.74. Систему, необходимую для отвода остаточного тепловыделения в аварийных условиях, следует проектировать таким образом, чтобы ее можно было запустить в условиях, когда потеряна функция недогрева воды бассейна выдержки.

3.75. В мокрых хранилищах не следует устраивать проходки, расположенные ниже минимального уровня воды, необходимого

для экранирования хранящегося в них облученного топлива в аварийных условиях.

3.76. Следует обеспечить, чтобы объем бассейна выдержки отработавшего топлива был достаточным для того, чтобы в случае потери принудительного охлаждения имелось достаточно времени на принятие корректирующих мер, прежде чем температура воды достигнет пределов температуры теплоносителя.

3.77. Следует внедрять проектно-компоновочные решения для предотвращения оголения верхних концевиков отработавших тепловыделяющих сборок и поддержания достаточной радиационной защиты в случае непреднамеренной или случайной утечки через шлюз между бассейном выдержки отработавшего топлива и осушенной секцией для обращения с топливом.

3.78. Стеллажи для хранения отработавшего топлива следует проектировать таким образом, чтобы они поддерживали надлежащий теплоперенос от каждой облученной тепловыделяющей сборки за счет естественного конвективного потока для предотвращения пузырькового кипения в тепловыделяющей сборке.

3.79. В проекте следует предусмотреть средства для компенсации потери теплоносителя из-за испарения и потенциальной утечки, связанной с постулируемыми авариями. Такие средства включают в себя стационарно установленную систему, обеспечивающую подачу аварийной питательной воды для восстановления запаса теплоносителя.

3.80. Следует предусмотреть дополнительные средства с целью облегчить применение нестационарного оборудования или другого стационарного оборудования для восстановления запаса теплоносителя и способности отводить остаточное тепловыделение (см. SSR-2/1 (Rev. 1), пункт 6.68 (c) [1]). Такие средства должны иметься в зоне, доступ в которую гарантирован. Вне бассейна выдержки отработавшего топлива следует предусмотреть соединительные устройства. К типичным решениям относятся:

- a) подключение к другим стационарно установленным системам, например к системе технической воды и системе водяного пожаротушения;
- b) установка трубопроводов и арматуры для подсоединения системы охлаждения или подачи питательной воды с использованием

переносного оборудования в зонах, удаленных от бассейна выдержки отработавшего топлива;

- с) средства для вентилирования зоны бассейна выдержки отработавшего топлива с целью удаления остаточного тепла и пара;
- д) средства для восстановления принудительного охлаждения бассейна выдержки отработавшего топлива в случае продолжительной потери электроснабжения переменного тока (т.е. обесточивания АЭС);
- е) средства для временного ремонта небольших течей сквозь металлическую облицовку бассейна.

## КОНСТРУКЦИОННАЯ ЦЕЛОСТНОСТЬ

3.81. Следует поддерживать конструкционную целостность и работоспособность конструкций и элементов, предназначенных для выполнения фундаментальных функций безопасности, в течение всего их срока службы во всех эксплуатационных состояниях и аварийных условиях, на работу в которых они рассчитаны. В проекте следует учитывать соответствующие условия нагружения (например, напряжение, температуру, агрессивную среду, уровни облучения), а также ползучесть, усталость, тепловые напряжения, коррозию, изменения в свойствах материалов с течением времени (например, усадку бетона) и потенциал ухудшения свойств упрочняющего материала.

3.82. Следует выявить, обосновать и задокументировать нагрузки и их сочетания, учитываемые в проекте. Типичные примеры сочетаний проектных нагрузок для проведения анализа прочности и оценки результатов анализа напряжений приведены в пунктах 3.83–3.87.

3.83. Проектные нагрузки, которые следует учитывать при проектировании стеллажей для хранения свежего топлива, включают в себя следующее:

- а) статические нагрузки;
- б) силы выталкивания, воздействующие на стеллажи при работе перегрузочной машины (при том понимании, что эти силы прилагаются к тепловыделяющей сборке в случае постулируемого заклинивания);
- с) сейсмические нагрузки SL-2.

3.84. Проектные нагрузки, которые следует учитывать при проектировании стеллажей для хранения отработавшего топлива, включают в себя следующее:

- a) нагрузки, перечисленные в пункте 3.83;
- b) динамические нагрузки от падения тепловыделяющей сборки;
- c) тепловые нагрузки.

3.85. Проектные нагрузки, которые следует учитывать при проектировании конструкции хранилища отработавшего топлива, включают в себя следующее:

- a) сейсмические нагрузки SL-2 и связанные с ними гидродинамические нагрузки из-за движения воды в зоне хранения;
- b) динамические нагрузки от падения контейнера с отработавшим топливом;
- c) нагрузки от тепловых эффектов, вызванных крупной потерей охлаждения;
- d) статические нагрузки.

3.86. Следует определить методы сочетания отдельных нагрузок в соответствии с применимыми нормами и правилами.

3.87. Следует обеспечить, чтобы допустимые значения напряжения для заданных условий нагружения соответствовали пределам, указанным в применимых апробированных нормах и правилах. Если таких норм и правил не существует, то следует предоставить обоснование выбранных допустимых уровней напряжения.

## КЛАССИФИКАЦИЯ ПО БЕЗОПАСНОСТИ

3.88. В пунктах 3.89–3.93 приведены рекомендации по выполнению требования 22 SSR-2/1 (Rev. 1) [1]. Рекомендации по классификации с точки зрения безопасности содержатся в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-30 «Классификация конструкций, систем и элементов атомных электростанций по безопасности» [16].

3.89. Для целей классификации по безопасности следует учитывать последствия отказа узла с точки зрения неспособности выполнять

функцию безопасности, радиационного облучения работников и уровня радиоактивного выброса.

3.90. Классификацию по безопасности следует устанавливать последовательным образом так, чтобы все системы (включая вспомогательные системы), необходимые для выполнения одной и той же функции в определенном состоянии станции, были отнесены к одному и тому же классу, или же следует представить обоснование для присвоения другого класса безопасности.

3.91. В соответствии с требованием 9 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1] оборудование, работающее под давлением, следует проектировать и изготавливать в соответствии с требованиями, установленными национальными или международными правилами соразмерно его классу безопасности, а применимость выбранных норм проектирования следует обосновывать (см., например, [17–19]). Инженерно-технические правила проектирования и изготовления, применяемые к каждому отдельному элементу, следует выбирать с надлежащим учетом двух последствий его отказа (невыполнения функции и радиоактивного выброса).

3.92. Конкретные конструкции и элементы следует проектировать и изготавливать в соответствии с требованиями, установленными национальными или международными правилами соразмерно их классу безопасности; применимость выбранных стандартов проектирования следует обосновывать.

3.93. В соответствии с рекомендациями, приведенными в SSG-30 [16]:

- a) конструкции, которые обеспечивают запасы подкритичности, следует относить к классу безопасности 1;
- b) системы, которые не рассчитаны на превышение проектных пределов, применимых для проектных аварий, следует относить к классу безопасности 2 или, если они требуются в течение короткого времени, к классу безопасности 1;
- c) системы, задуманные в качестве резервных для систем, предназначенных для проектных аварий, следует относить к классу безопасности 3 или, если они требуются в течение короткого времени, к классу безопасности 2;
- d) системы для отвода тепловыделения при нормальной эксплуатации следует относить к классу безопасности 3;

- е) системы, спроектированные для эксплуатационных состояний, отказы которых не приведут к радиологическим последствиям, превышающим предел, установленный для эксплуатационных состояний, не подлежат классификации по безопасности.

## АТТЕСТАЦИЯ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

3.94. В пунктах 3.95–3.100 приведены рекомендации по выполнению требования 30 SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

3.95. Конструкции, системы и элементы следует аттестовать на выполнение заданных функций во всем спектре условий окружающей среды, которые могут существовать до или во время их эксплуатации до окончания срока их службы (см. требование 30 SSR-2/1 (Rev. 1) [1]), или, напротив, их следует надлежащим образом защитить от этих условий окружающей среды.

3.96. При аттестации оборудования на работу в условиях окружающей среды следует принимать во внимание все факторы — соответствующие природные и сейсмические условия, которые могут существовать до, во время и после аварии, старение конструкций, систем и элементов на протяжении срока службы станции, синергические эффекты и запасы. Более подробные рекомендации содержатся в SSG-67 [14] и публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-48 «Управление старением и разработка программы долгосрочной эксплуатации атомных электростанций» [20].

3.97. В аттестацию оборудования на работу в условиях окружающей среды следует включать учет таких факторов, как температура, давление, влажность, уровни радиации, радиоактивные аэрозоли, вибрация, водяное орошение, пар, затопление, электромагнитное воздействие, контакт с химическими веществами и сочетание всех этих факторов.

3.98. Аттестацию оборудования на работу в условиях окружающей среды следует проводить посредством испытаний, анализа (включая использование инженерно-технического опыта) или сочетанием этих методов (см. также SSR-2/1 (Rev. 1), пункты 5.49 и 5.50 [1]).

3.99. Для элементов, подверженных воздействию различных механизмов старения, следует устанавливать расчетный срок службы, программу инспектирования и, при необходимости, периодичность замены. Когда проводится аттестация таких элементов, то перед их испытанием в условиях

проектной аварии образцы элементов следует подвергнуть искусственному старению с целью имитации окончания их расчетного срока службы.

3.100. Данные и результаты аттестационных испытаний следует оформлять документально и хранить в составе проектной документации.

## ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ КРИТИЧНОСТИ

3.101. Если запас подкритичности невозможно поддерживать за счет контроля геометрии, то следует применять дополнительные средства, такие как стационарные поглотители нейтронов. Если используются стационарные поглотители нейтронов, то благодаря надлежащему проектированию и изготовлению следует обеспечить, чтобы эти поглотители не были разделены или смещены в эксплуатационных состояниях или в аварийных условиях, в том числе во время или после землетрясения.

3.102. Если для того, чтобы не выйти за проектный предел в аварийных условиях, применяются растворимые поглотители, то следует продемонстрировать, что чистая вода не приведет к возникновению критичности ни в одном из режимов нормальной эксплуатации.

3.103. В проектных решениях по предотвращению критичности следует учитывать любые геометрические деформации топлива или оборудования для хранения, которые могут быть вызваны любыми постулируемыми исходными событиями. Следует также учитывать обычные перемещения топлива, при которых перемещаемый твэл может оказаться в непосредственной близости от топлива, находящегося на хранении, или при которых твэл может упасть на хранящееся топливо либо рядом с ним.

3.104. Решетку стеллажей для хранения отработавшего топлива следует проектировать таким образом, чтобы предотвращать любое снижение запасов подкритичности, например за счет забора воздуха или пара во время обращения с топливом или его хранения.

3.105. Конструкцию стеллажей для хранения отработавшего топлива следует сделать такой, чтобы предотвращать помещение тепловыделяющих сборок в неправильные места.

3.106. При определении подкритичности следует использовать консервативно рассчитанное значение эффективного коэффициента

размножения  $k_{\text{eff}}$  или, в противном случае, коэффициент бесконечного размножения  $k_{\infty}$ . Рекомендации в отношении безопасности по критичности приведены в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-27 «Criticality Safety in the Handling of Fissile Material» («Безопасность по критичности при обращении с делящимся материалом»)[21]. В отношении проектирования систем обращения с топливом и его хранения применяются следующие рекомендации:

- a) следует продемонстрировать достаточный запас подкритичности во всех вероятных условиях с учетом всех неопределенностей в расчетных кодах и экспериментальных данных;
- b) если внутри тепловыделяющей сборки имеются элементы с разным уровнем обогащения, то следует использовать точное моделирование или принять в качестве консервативного предположения однородное обогащение всех элементов тепловыделяющей сборки;
- c) если тепловыделяющие сборки имеют разный уровень обогащения, то стеллажи для хранения свежего топлива следует, как правило, проектировать исходя из величины обогащения, соответствующей уровню обогащения тепловыделяющей сборки с наибольшим обогащением или наиболее реактивной тепловыделяющей сборки;
- d) следует исходить из того, что все отработавшие тепловыделяющие сборки имеют уровни выгорания и обогащения, которые приводят к максимальной реактивности, за исключением случаев, когда запас по выгоранию предполагается исходя из обоснования, которое включает в себя соответствующие измерения, подтверждающие расчетные значения для делящегося содержимого или уровень обеднения до хранения топлива;
- e) в тех случаях, когда присутствует топливо неодинаковой конструкции и/или имеются неопределенности в любых данных, касающихся топлива (с точки зрения конструкции, геометрических характеристик, характеристик материала, допусков при изготовлении и ядерных данных), во всех расчетах подкритичности следует использовать консервативные значения. При необходимости следует выполнять анализ чувствительности;
- f) следует исходить из того, что стеллажи для хранения топлива загружены до максимальной расчетной вместимости;
- g) если поглощающие нейтроны части или элементы стеллажей для хранения топлива при нормальной эксплуатации не установлены стационарно, не следует учитывать их запас по выгоранию;
- h) стеллажи для хранения топлива следует проектировать таким образом, чтобы предотвращать горизонтальные, осевые и изгибающие

нагрузки, ведущие к неприемлемым изменениям геометрических размеров топлива. При оценке критичности следует принимать во внимание любые геометрические деформации топлива и стеллажей для хранения, которые могут быть вызваны любым постулируемым исходным событием или проектным землетрясением;

- i) следует сделать соответствующие консервативные допущения в отношении замедления;
- j) следует учитывать эффекты отражения нейтронов за счет точного проектирования стеллажей для хранения топлива, включая материалы, размеры и расстояния между стеллажами, а также между стеллажами для хранения топлива и конструкциями, находящимися вблизи стеллажей (например, полов и стен);
- к) при необходимости следует надлежащими расчетами обосновать допущения в отношении ослабления действия нейтронов для различных зон хранения;
- л) поправку на присутствие выгорающих поглотителей, которые являются составляющей частью тепловыделяющих сборок, следует делать только на базе обоснования, которое приемлемо для регулирующего органа и которое предполагает учет возможного уменьшения запасов подкритичности из-за выгорания выгорающего поглотителя.

## РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА

3.107. Следует обеспечить, чтобы проект хранилища отработавшего топлива предусматривал радиационную защиту работников, населения и окружающей среды в соответствии с требованиями национального законодательства и требованиями, установленными в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 3 «Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности» [22]. Дополнительные рекомендации содержатся в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-1.13 «Аспекты радиационной защиты при проектировании атомных электростанций» [23].

3.108. В соответствии с пунктом 6.48 и требованием 81 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] следует предусмотреть подходящие системы вентиляции и экранирования для удержания концентраций радиоактивных аэрозолей и прямого радиационного облучения работников в эксплуатационных состояниях на разумно достижимом низком уровне.

3.109. Следует оборудовать надлежащие системы локализации и фильтрации, чтобы свести к минимуму радиологические последствия для населения и окружающей среды и для того, чтобы эти последствия находились ниже пределов, определенных для эксплуатационных состояний и аварийных условий.

3.110. При проектировании экранирования следует учесть граничные случаи для исходного состава топлива, времени выгорания и охлаждения для гамма- и нейтронной радиации, запас облученного топлива при максимальной проектной вместимости хранилища отработавшего топлива, последствия осевого выгорания по гамма- и нейтронным источникам, мобильность активированных продуктов коррозии и активирование элементов, не относящихся к топливу.

3.111. Проходки в экранирующих барьерах (например, проходки, связанные с системами охлаждения, или проходки, предусмотренные для погрузки и разгрузки) следует проектировать таким образом, чтобы не допускать возникновения локализованных высоких полей гамма- и нейтронного излучения либо напрямую через проходку, либо из-за утечки излучения.

3.112. Свежее топливо, содержащее расщепляющийся материал, регенерированный при переработке, выделяет значительное количество радиации. При сухом хранении следует предусмотреть дополнительное экранирование для ограничения облучения эксплуатационного персонала при обращении с таким топливом и его хранении.

## МАТЕРИАЛЫ

3.113. Следует выбирать конструкционные материалы и способы сварки исходя из принятых в проекте норм и правил. Следует учитывать потенциальные кумулятивные эффекты излучения для материалов, которые, по всей вероятности, будут подвергаться воздействию высоких радиационных полей. Кроме того, следует учитывать потенциальное ухудшение свойств материалов из-за теплового воздействия.

3.114. Материал, применяемый для облицовки бассейна, и прочие конструкционные материалы, вступающие в контакт с теплоносителем (например, стеллажи), должны иметь низкую чувствительность к явлениям коррозии с учетом химического состава теплоносителя.

3.115. Следует обеспечить, чтобы материалы, вступающие в непосредственный контакт с топливом, были совместимы с материалами тепловыделяющих сборок и были такими, чтобы химические и гальванические реакции, которые могут привести к ухудшению целостности облученного топлива во время хранения, были сведены к минимуму. Материалы, вступающие в непосредственный контакт с облученным топливом, не должны загрязнять облученное топливо веществами, которые могут в значительной степени ухудшить целостность облученного топлива во время хранения.

3.116. Следует обеспечить, чтобы материалы, применяемые для строительства систем хранения топлива, облегчали дезактивацию поверхностей.

3.117. Следует учитывать совместимость дезактивационных материалов с эксплуатационной средой.

3.118. Материалы, используемые при сооружении систем хранения топлива, должны соответствовать рекомендациям в пунктах 3.29–3.32 в отношении защиты от пожаров.

3.119. Что касается стеллажей для хранения, в которых используются стационарные твердые поглотители нейтронов, то в течение всего срока службы стеллажей должна иметься возможность демонстрировать, что:

- a) стационарные твердые поглотители нейтронов не утрачивают своей эффективности;
- b) стационарные твердые поглотители нейтронов химически совместимы с другими элементами стеллажей и химически стабильны при погружении в воду.

## МОНИТОРИНГ

3.120. В пунктах 3.121–3.128 представлены рекомендации по соблюдению положений пункта 6.68А и требования 82 SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

3.121. Следует предусмотреть надлежащее и аттестованное (при необходимости) контрольно-измерительное оборудование для контроля температуры воды в хранилище облученного топлива в эксплуатационных состояниях и аварийных условиях (см. SSR2/1 (Rev. 1), пункт 6.68А (а) [1]).

3.122. Следует предусмотреть надлежащее и аттестованное контрольно-измерительное оборудование для контроля уровня воды в хранилище отработавшего топлива в эксплуатационных состояниях и аварийных условиях (см. SSR-2/1 (Rev. 1), пункт 6.68A (b) [1]). Следует предусмотреть надежное контрольно-измерительное оборудование для контроля уровня воды в широком диапазоне при мониторинге в аварийных условиях.

3.123. Следует предусмотреть надлежащее и аттестованное контрольно-измерительное оборудование для мониторинга активности в воздухе в хранилище топлива и в зонах обращения с топливом в эксплуатационных состояниях и соответствующих аварийных условиях (см. SSR-2/1 (Rev. 1), пункт 6.68A (c) [1]).

3.124. Следует предусмотреть надлежащее и аттестованное контрольно-измерительное оборудование для мониторинга активности в воде в хранилище облученного топлива в эксплуатационных состояниях и соответствующих аварийных условиях (см. SSR-2/1 (Rev. 1), пункт 6.68A (c) [1]).

3.125. Следует предусмотреть надлежащие средства для мониторинга химических параметров в бассейне выдержки отработавшего топлива в эксплуатационных состояниях (см. SSR-2/1 (Rev. 1), пункт 6.68A (d) [1]). Сюда следует включать, насколько это уместно, мониторинг концентрации растворимых поглотителей.

3.126. Контрольно-измерительные приборы, необходимые для мониторинга ключевых параметров, которые используются при управлении авариями, следует резервировать.

3.127. Зоны, в которых осуществляется обращение с облученным топливом или его хранение, следует оснащать подходящим оборудованием радиационного мониторинга и средствами сигнализации для защиты эксплуатационного персонала. Такое оборудование должно включать в себя достаточное количество радиационных дозиметров для обеспечения защиты персонала, управляющего перегрузочными машинами. Следует предусмотреть непрерывный контроль воздуха на любом участке, где во время обращения с облученным топливом может произойти выброс радиоактивных аэрозолей. Более подробные рекомендации приводятся в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № RS-G-1.8 «Мониторинг окружающей среды и источников для целей радиационной защиты» [24].

3.128. При проектировании хранилищ топлива следует учитывать возможность и создавать условия для использования удаленных и робототехнических технологий для мониторинга и измерения потенциально очень высоких мощностей дозы, особенно в случае аварии.

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ВОДООЧИСТКИ ДЛЯ БАССЕЙНА ВЫДЕРЖКИ ОТРАБОТАВШЕГО ТОПЛИВА

3.129. Следует определить пределы концентрации радионуклидов в воде бассейна выдержки отработавшего топлива. Следует также установить предельные значения для качества воды и уровней содержания радионуклидов в воздухе.

3.130. Системы водоочистки бассейна выдержки отработавшего топлива следует проектировать с таким расчетом, чтобы:

- a) радиоактивные, ионные и твердые примеси, привносимые продуктами активации, поврежденным топливом и из других источников, могли быть удалены из воды, чтобы мощность дозы радиоактивного излучения от воды как таковой могла удерживаться в рамках установленных пределов;
- b) соблюдались пределы, относящиеся к водно-химическому режиму воды бассейна (например, концентрация бора, содержание хлоридов, сульфатов и фторидов, если это необходимо, значение pH и проводимость), которые определены для нормальной эксплуатации в том, что касается поддержания подкритичности и минимизации коррозии;
- c) прозрачность воды поддерживалась на приемлемом уровне, чтобы операции по обращению с топливом в воде можно было контролировать;
- d) производительность системы очистки была достаточной для того, чтобы очистить объем воды в бассейне выдержки отработавшего топлива в течение заданного периода времени;
- e) по мере возможности были предусмотрены меры для контроля роста микроорганизмов.

3.131. Системы очистки бассейна выдержки отработавшего топлива следует проектировать таким образом, чтобы они были способны удалять примеси и взвешенные частицы с поверхности воды бассейна.

3.132. В проекте систем водоочистки для бассейна выдержки отработавшего топлива следует предусмотреть средства для локального удаления воды бассейна и ее направления в систему очистки или местное очистное оборудование в случае операций, при которых может увеличиться выброс радиоактивного материала или произойти суспензирование частиц, например при восстановлении топлива.

3.133. В проект систем водоочистки для бассейна выдержки отработавшего топлива следует включать меры по предотвращению распространения радионуклидных аэрозолей, включая галогены, с поверхности бассейна (например, размещение всасывающих отверстий систем вентиляции и кондиционирования воздуха у поверхности бассейна).

3.134. В проекте систем водоочистки для бассейна выдержки отработавшего топлива следует предусмотреть меры, которые предотвращали бы недопустимое накопление загрязнения в зонах хранения топлива и способствовали уменьшению загрязнения до приемлемых уровней, если такое накопление произойдет. Следует проектировать трубопроводы с минимальным количеством фланцев и иных устройств (таких как уловители или замкнутые петли), в которых может накапливаться радиоактивный материал.

3.135. Следует обеспечить, чтобы максимальная температура теплоносителя при нормальной эксплуатации не превышала максимально допустимую температуру очистного оборудования (например, ионообменника).

## ОСВЕТИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

3.136. В пунктах 3.137–3.140 приведены рекомендации по выполнению требования 75 SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

3.137. Рабочие зоны, где осуществляются операции по обращению с облученным топливом и его хранению, включая зону бассейна выдержки, следует оснастить необходимым осветительным оборудованием (т.е. подводным освещением вблизи мест производства работ и средствами замены подводных светильников) для обеспечения удовлетворительного обращения с тепловыделяющими сборками, их визуального осмотра и идентификации.

3.138. Следует обеспечить, чтобы материалы, применяемые для подводного освещения, соответствовали условиям окружающей среды и, в частности, не подвергались неприемлемой коррозии и не приводили к неприемлемому загрязнению воды.

3.139. Насколько это возможно, следует обеспечить устойчивость к ударным воздействиям и тепловым нагрузкам.

3.140. Следует выбирать технологии освещения с большим спектром температур для увеличения диапазона светопередачи в воде.

## **4. ПРОЕКТНЫЕ ОСНОВЫ ОБОРУДОВАНИЯ И ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ОБРАЩЕНИЯ С ТОПЛИВОМ**

4.1. Системы обращения с топливом используются в основном для разгрузки и перегрузки активной зоны реактора. Системы обращения с топливом, используемые в легководных реакторах, включают в себя следующие:

- a) перегрузочную машину для операций с новыми или облученными тепловыделяющими сборками при загрузке или разгрузке активной зоны и для перемещения сборок между активной зоной и системой перемещения топлива (для реакторов с водой под давлением) либо непосредственно в место хранения (для кипящих реакторов);
- b) систему для перемещения тепловыделяющих сборок между приреакторным бассейном и бассейном выдержки отработавшего топлива по каналу для перемещения топлива (для типичных реакторов с водой под давлением);
- c) системы для перемещения и локализации тепловыделяющих сборок в зонах хранения топлива (например, вспомогательный кран или подъемное устройство, подъемник свежего топлива, перегрузочная машина);
- d) приспособления для операций с топливом (например, расцепляющие устройства для приводов управляющих стержней, инструменты для операций со свежими тепловыделяющими сборками, инструменты для операций с отработавшими тепловыделяющими сборками).

4.2. Системы обращения с топливом, используемые в корпусных тяжеловодных реакторах (канального типа), включают в себя следующие:

- a) систему для транспортировки свежих тепловыделяющих сборок до перегрузочной машины (т.е. механизм перемещения свежего топлива);
- b) систему для загрузки свежего топлива в активную зону и для выгрузки облученного топлива из активной зоны (т.е. перегрузочную машину);
- c) систему для перемещения выгруженных облученных тепловыделяющих сборок от перегрузочной машины в воду бассейна выдержки (например, подъемник и лестница);
- d) вспомогательный кран или подъемное устройство в здании для обращения с топливом;
- e) приспособления для манипулирования с топливом (например, захват для тепловыделяющих сборок).

## ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

4.3. Для выполнения требования 14 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] следует определить проектные основы для каждого элемента и оборудования систем обращения с топливом, а также, если это необходимо, уточнить моменты, перечисленные в пункте 3.3.

4.4. В эксплуатационных состояниях и аварийных условиях следует ограничивать нагрузки, чтобы гарантировать, что они не являются причиной повреждения топлива или случайного возникновения критичности и что конструкции бассейна выдержки отработавшего топлива или оборудованию для обращения с топливом не причиняется повреждений.

4.5. В проекте систем обращения с топливом следует предусматривать средства для предотвращения падения, заклинивания или застревания тепловыделяющих сборок во время манипулирования с ними и их перемещения.

4.6. В проекте систем обращения с топливом следует предусматривать средства для предотвращения падения устройств для обращения с топливом во время операций с топливом.

## ФУНКЦИИ БЕЗОПАСНОСТИ

4.7. В соответствии с требованием 80 SSR-2/1 (Rev. 1) [1], системы обращения с топливом следует проектировать таким образом, чтобы они обеспечивали запасы подкритичности и позволяли избегать повреждения топлива, возникновения высоких радиационных полей и выбросов радиоактивного материала сверх установленных пределов во время операций по обращению с топливом. Роль основных элементов и оборудования в выполнении фундаментальных функций безопасности следует описывать с такой степенью детальности, которая является достаточной для определения проектных основ.

## ПОСТУЛИРУЕМЫЕ ИСХОДНЫЕ СОБЫТИЯ

4.8. В пунктах 4.9–4.13 приведены рекомендации по выполнению требования 16 SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

4.9. Постулируемые исходные события, относящиеся к проектированию систем обращения с топливом, включают в себя отказы оборудования и ошибки операторов, которые потенциально ведут к снижению запаса подкритичности, значительному выбросу радиоактивного материала или значительному прямому радиационному облучению эксплуатационного персонала. Все такие постулируемые исходные события необходимо учитывать в проекте, с тем чтобы определить предупредительные и защитные меры, необходимые для обеспечения выполнения требуемых функций безопасности (см. SSR-2/1 (Rev. 1), пункт 5.7 [1]).

4.10. В тех случаях, когда ограничения по обращению с топливом важны для поддержания достаточного запаса подкритичности, ошибки оператора, такие как неправильное размещение тепловыделяющих сборок и неконтролируемое падение тепловыделяющих сборок, следует считать постулируемыми исходными событиями.

4.11. Потенциальное падение тепловыделяющей сборки следует считать постулируемым исходным событием. Следует учитывать последствия потенциального выброса радиоактивного материала с точки зрения защиты работников, населения и окружающей среды.

4.12. Следует предотвращать неправильную установку топлива во время операций по перемещению топлива внутри корпуса реактора за счет применения блокировок соответствующей надежности и качества.

4.13. Следует учитывать механические повреждения из-за избыточных усилий системы обращения с топливом или падения тяжелых предметов, если они не могут быть предотвращены надежными блокировками. Примеры возможных действий системы обращения с топливом, которые могут привести к повреждению, включают в себя зависание тепловыделяющей сборки, смещение при подъеме или опускании и раскрытие захвата под нагрузкой. Следует также учитывать механические повреждения, вызываемые излишним движением (например, продолжающимся опусканием после позиционирования тепловыделяющей сборки или движением вверх до остановки с резким торможением) и излишней скоростью.

## ВНУТРЕННИЕ ОПАСНОСТИ

4.14. Для выполнения требования 17 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] в отношении внутренних опасностей следует в первую очередь обеспечить защиту систем обращения с топливом за счет планировки здания, в котором они размещаются.

## ВНЕШНИЕ ОПАСНОСТИ

4.15. В пунктах 4.16–4.18 представлены рекомендации по выполнению требования 17 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] в отношении внешних опасностей. Рекомендации по идентификации внешних опасностей, за исключением землетрясений, которые могут повлиять на проектирование систем обращения с топливом, представлены в SSG-68 [13]. Рекомендации по сейсмостойкому проектированию приведены в SSG-67 [14].

4.16. Оборудование и элементы систем обращения с топливом требуется проектировать таким образом, чтобы они противостояли воздействию внешних опасностей или были защищены от внешних опасностей и их сочетаний (см. SSR-2/1 (Rev. 1), пункт 5.15A [1]).

4.17. Защиту систем обращения с топливом от воздействия внешних опасностей следует обеспечивать прежде всего за счет надлежащего проектирования здания, в котором они установлены. Если защита

неэффективна (например, как это может быть в случае землетрясения), оборудование для обращения с топливом следует проектировать таким образом, чтобы оно сохраняло целостность и не допускало падения грузов (например, в случае сейсмических нагрузок SL-2).

4.18. Технические условия сейсмостойкого проектирования для систем обращения с топливом следует устанавливать исходя из последствий потенциальных повреждений тепловыделяющих сборок (находящихся на хранении или в обращении), выброса радиоактивного материала в здании и необходимости эксплуатации оборудования во время и после землетрясения.

## ПРОЕКТНЫЕ ПРЕДЕЛЫ

4.19. В пунктах 4.20 и 4.21 приведены рекомендации по выполнению требований 15 и 28 SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

4.20. В проекте следует предусматривать, чтобы напряжения, вызванные сочетаниями проектных нагрузок, оставались ниже допустимых пределов, установленных для топлива и отдельных элементов и оборудования систем обращения с топливом.

4.21. Следует определить пределы и условия эксплуатации оборудования для обращения с топливом (например, пределы грузоподъемности и скорость подъема, спуска, вращения и горизонтального движения, а также ограничения на перемещения оборудования для обращения с топливом), а также предусмотреть блокировки для того, чтобы эти пределы и условия не превышались.

## НАДЕЖНОСТЬ

4.22. В пунктах 4.23–4.47 представлены рекомендации по выполнению требований 22, 23, 25, 26, 29 и 30 SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

4.23. Следует определить необходимый уровень надежности отдельных узлов оборудования для обращения с топливом. Такой уровень надежности

следует указывать с учетом последствий отказа оборудования. Достижению необходимой надежности способствуют следующие факторы:

- a) классификация по безопасности и соответствующие инженерно-технические правила проектирования и изготовления отдельных конструкций, систем и элементов;
- b) предусмотренные в проекте средства контроля, инспектирования, испытаний и технического обслуживания;
- c) предусмотренные в проекте устройства руководства, управления и контроля, а также опознавательные маркировки, рабочие органы и соединительные элементы для безопасного выполнения и контроля процесса обращения с топливом;
- d) устройства связи между зонами обращения с топливом, а также с пунктом управления.

4.24. Следует обеспечить консервативное проектирование несущих частей систем обращения с топливом.

4.25. Следует проводить оценку надежности для проверки достижения цели, связанной с обеспечением надежности.

## АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ УЗЛОВ, ВАЖНЫХ ДЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ

4.26. Следует проводить анализы прочности для демонстрации того, что напряжения, вызванные сочетаниями нагрузок, не превышают проектных пределов, установленных для отдельных конструкций и оборудования систем обращения с топливом. К типичным примерам нагрузок, которые следует учитывать в анализе прочности, относятся:

- a) статические нагрузки;
- b) динамические нагрузки при нормальной эксплуатации оборудования (например, нагрузки, создаваемые оборудованием для обращения с топливом при ускорении);
- c) динамические нагрузки при нарушениях нормальной эксплуатации оборудования (например, случайное падение тепловыделяющей сборки с максимальной высоты) и при несимметричных нагрузках;
- d) сейсмические нагрузки, определенные в соответствии с категориями сейсмостойкости в SSG-67 [14];
- e) тепловые нагрузки.

4.27. Следует определять методы для оценки сочетания нагрузок в соответствии с применимыми проектными нормами и правилами.

4.28. Следует проводить анализ прочности любого оборудования, которое применяется для ограничения нагрузок (например, демпферов или амортизаторов), и учитывать виды отказа такого оборудования.

## СПЕЦИАЛЬНЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ

4.29. В случае легководных реакторов системы для подъема тепловыделяющих сборок следует проектировать таким образом, чтобы нарушения нормальных процедур манипулирования и подъема не могли создать неприемлемых нагрузок для тепловыделяющих сборок. Это следует обеспечивать посредством физических ограничений или автоматических защитных действий (пассивных систем или систем, приводимых в действие оборудованием контроля и управления). Используемые методы могут включать в себя следующее:

- a) ограничение мощности двигателя подъемного устройства;
- b) установку предохранительных фрикционных муфт в приводных механизмах;
- c) подключение к двигателю или тросу подъемного устройства устройств автоматического и непрерывного отслеживания и регистрации нагрузки;
- d) установление конкретных ограничений на скорость.

4.30. В проекте следует предусмотреть использование ручного оборудования, которое позволяет поместить тепловыделяющие сборки в безопасное место в случае нарушения режима нормальной эксплуатации системы обращения с топливом.

4.31. Оборудование для обращения с топливом следует проектировать таким образом, чтобы не допускать утечки и выхода смазочных материалов и иных жидкостей или веществ, которые могут привести к ухудшению качества воды бассейна выдержки. Следует предотвращать попадание таких веществ в системы мокрого хранения либо, что предпочтительнее, следует сделать так, чтобы они были полностью совместимы с топливом и конструкциями оборудования и хранилища.

4.32. Оборудование для обращения с топливом следует проектировать таким образом, чтобы предотвращать непреднамеренное помещение топлива или элементов активной зоны в место, которое уже занято, либо в иное неподходящее место.

4.33. Проект систем обращения с топливом и перегрузочных машин может включать в себя системы контроля и управления для управления и контроля за операциями по обращению с топливом, выполняемыми в здании реактора и в здании для обращения с топливом. Системы контроля и управления могут использоваться для предотвращения некорректных перемещений тепловыделяющей сборки и помещения тепловыделяющей сборки в неподходящее место. Следует обеспечить, чтобы надежность этой системы была соразмерна значимости операций по загрузке и выгрузке топлива с точки зрения безопасности. Следует учитывать последствия неисправной работы таких систем контроля и управления.

4.34. В случае легководных реакторов, когда тепловыделяющая сборка находится в наклонном положении, нагрузки, возникающие в ее конструкции, следует ограничивать опорами, с тем чтобы гарантировать отсутствие повреждений.

4.35. В случае легководных реакторов в проекте систем обращения с топливом следует предусматривать меры по ограничению риска некорректного позиционирования тепловыделяющей сборки в корпусе реактора во время операций по перегрузке активной зоны.

4.36. В случае легководных реакторов следует предусматривать электрические блокировки для предотвращения движения перегрузочной машины, когда топливо находится в неправильном положении.

## **Специальные аспекты проектирования перегрузочной машины**

### *Легководные реакторы*

4.37. Захват подъемного устройства перегрузочной машины следует проектировать с таким расчетом, чтобы он надежно захватывал и транспортировал тепловыделяющие сборки или иные сборки безопасным

образом. В этой связи следует предусматривать средства безопасности и системы безопасности, описанные ниже:

- a) перед началом подъемной операции следует получить однозначное указание на то, что захват точно наведен на тепловыделяющую сборку. По возможности этого следует достигать с помощью автоматических блокировок. Если это невозможно, то следует применять строго контролируемые административные процедуры;
- b) в случае обесточивания захват должен оставаться закрытым;
- c) следует исключить возможность расцепления захвата с тепловыделяющей сборкой в то время, когда перегрузочная машина прикладывает силу к тепловыделяющей сборке. Это следует реализовать с использованием механических блокировок;
- d) следует обеспечить, чтобы захват мог расцепляться с тепловыделяющей сборкой только на заданных отметках высоты, даже когда нагрузка не прилагается. По возможности это следует реализовать с помощью автоматических блокировок. Если это невозможно, то следует применять строго контролируемые административные процедуры;
- e) захват следует оборудовать встроенным устройством безопасности, предотвращающим расцепление тепловыделяющей сборки.

4.38. Следует предусматривать защитные устройства для того, чтобы оборудование для обращения с топливом не могло совершать горизонтальных перемещений во время подъема или опускания топлива или элементов активной зоны, если результатом этого может стать позиционирование топлива с применением силы.

4.39. Следует предусматривать защитные устройства (электрические и/или механические блокировки), дополненные административными мерами, для ограничения перемещения перегрузочных машин для того, чтобы предотвратить повреждение топлива (например, устройства защиты от перегрузки для защиты топлива от повреждения, дополненные считыванием показаний тензодатчика с целью удостовериться в отсутствии перегрузки).

#### *Корпусные тяжеловодные реакторы*

4.40. В проекте следует предусмотреть средства для обеспечения непрерывного охлаждения топлива в случае, когда облученные пучки твэлов застревают в перегрузочной машине и остаются в ней в течение продолжительного времени, пока не будут предприняты соответствующие действия. Такие средства следует проектировать, с тем чтобы предотвращать

значительные повреждения облученных пучков ТВЭЛОВ или отказ тепловыделяющих элементов из-за недостаточного воздушного охлаждения.

4.41. На атомных электростанциях с перегрузкой топлива на мощности конструкции перегрузочной машины и сопряженного с ней оборудования должны обеспечивать защиту и работоспособность контура теплоносителя реактора, в особенности поддержание давления в первом контуре и функций охлаждения топлива.

4.42. Следует предусматривать условия или отказы, которые могут привести к заклиниванию перегрузочной машины во время перегрузки, и принимать меры для предотвращения такого события или для смягчения его последствий. Следует предусмотреть ручные средства для высвобождения перегрузочной машины из положения, в котором ее заклинило. На станциях с перегрузкой на мощности особое внимание следует обращать на ситуации, когда перегрузочную машину может заклинить на канале с такой конфигурацией, которая может привести к локальным блокировкам потока.

4.43. Следует обеспечить, чтобы конструкция перегрузочной машины не допускала превышения проектных пределов механических нагрузок на свежее топливо, топливо, находящееся в активной зоне, сопряженное оборудование и облученное топливо.

4.44. Перегрузочную машину следует проектировать таким образом, чтобы она могла выдерживать нагрузки, создаваемые сопряженными системами в эксплуатационных состояниях.

4.45. Перегрузочную машину следует проектировать таким образом, чтобы можно было минимизировать ее загрязнение при обращении с поврежденным топливом, а также облегчить ее дезактивацию после этого.

#### **Специальные аспекты проектирования атомных электростанций с системой перемещения топлива (реакторы с водой под давлением)**

4.46. Систему перемещения топлива следует проектировать таким образом, чтобы было обеспечено достаточное охлаждение топлива даже при сбое операции по перемещению топлива.

4.47. Если бассейн выдержки отработавшего топлива находится за пределами защитной оболочки, то в проекте следует предусмотреть

средства для выполнения требований по изоляции защитной оболочки (см. требование 56 SSR-2/1 (Rev. 1) [1]).

4.48. В конструкции системы перемещения топлива следует предусмотреть возможность доступа для своевременного безопасного извлечения тепловыделяющей сборки в случае застревания сборки из-за отказа (или неисправности) системы перемещения топлива.

## КЛАССИФИКАЦИЯ ПО БЕЗОПАСНОСТИ

4.49. Требуется произвести классификацию оборудования и элементов систем обращения с топливом исходя из их функций и значимости с точки зрения безопасности (см. требование 22 SSR-2/1 (Rev. 1) [1]).

4.50. Классификация по безопасности оборудования для обращения с топливом может быть выведена непосредственно из тяжести последствий отказов оборудования во время операций с топливом (повреждение топлива, облучение или выброс радиоактивного материала).

4.51. Классифицированное по безопасности оборудование следует проектировать и изготавливать согласно национальным и международным правилам, соответствующим его классу безопасности. Следует обосновывать применение выбранных норм проектирования.

## АТТЕСТАЦИЯ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

4.52. При аттестации систем обращения с топливом следует учитывать любые условия окружающей среды, в которых система выполняет функцию безопасности (см. требование 30 SSR-2/1 (Rev. 1) [1]). Следует принимать во внимание рекомендации, приведенные в пунктах 3.95–3.100.

## РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА

4.53. Подъемное оборудование для находящихся под водой облученных тепловыделяющихборок следует проектировать таким образом, чтобы подъем контролировался в пределах, позволяющих поддерживать минимальную глубину необходимой водной защиты.

4.54. Полые приспособления для операций с топливом, используемые под водой, следует проектировать таким образом, чтобы они заполнялись водой при погружении (для обеспечения водной защиты) и опорожнялись при извлечении.

4.55. При обращении со свежим топливом (включая смешанное оксидное топливо), которое содержит расщепляющиеся материалы, регенерированные при переработке, и излучает значительное количество радиации, следует предусмотреть дополнительную защиту, чтобы ограничить облучение эксплуатационного персонала, из-за более высоких уровней радиации, связанных со свежим топливом.

## МАТЕРИАЛЫ

4.56. Следует выбирать конструкционные материалы на основании принятых проектных норм и правил. Следует учитывать потенциальные кумулятивные эффекты излучения для материалов, которые, по всей вероятности, будут подвергаться воздействию высоких радиационных полей.

4.57. Следует обеспечить, чтобы материалы, вступающие в непосредственный контакт с топливом, были совместимы с материалами тепловыделяющих сборок и позволяли свести к минимуму химические и гальванические реакции, которые могут привести к ухудшению целостности облученного топлива во время обращения с ним.

4.58. Следует обеспечить, чтобы материалы, применяемые для строительства систем обращения с топливом, облегчали дезактивацию поверхностей.

## **5. ПРОЕКТНЫЕ ОСНОВЫ ОБОРУДОВАНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ДЛЯ ИНСПЕКТИРОВАНИЯ И РЕМОНТА ОБЛУЧЕННОГО ТОПЛИВА, ОБРАЩЕНИЯ С ПОВРЕЖДЕННЫМ ТОПЛИВОМ И ХРАНЕНИЯ ОБЛУЧЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АКТИВНОЙ ЗОНЫ И ОБРАЩЕНИЯ С НИМИ**

### **ОБОРУДОВАНИЕ, ИСПОЛЬЗУЕМОЕ ДЛЯ ИНСПЕКТИРОВАНИЯ И РЕМОНТА ОБЛУЧЕННОГО ТОПЛИВА И ОБРАЩЕНИЯ С ПОВРЕЖДЕННЫМ ТОПЛИВОМ**

5.1. Меры безопасности для оборудования по обращению с топливом, используемого для инспектирования и ремонта (разборка и восстановление), облученного топлива, а также для обращения с поврежденным топливом, следует осуществлять с учетом рекомендаций, представленных в разделе 4, и на основе дифференцированного подхода, учитывающего последствия отказа оборудования. Конкретные соображения в отношении типичного оборудования для обращения с топливом представлены в пунктах 5.2–5.11.

#### **Инспекционное оборудование**

5.2. Следует предусмотреть оборудование для инспектирования тепловыделяющих сборок и других элементов активной зоны визуальными или другими методами.

5.3. Инспекционное оборудование следует проектировать таким образом, чтобы сводить к минимуму последствия облучения и предотвращать перегрев топлива.

#### **Оборудование для разборки и восстановления**

5.4. Следует предусмотреть надлежащее оборудование для разборки, если необходимо разобрать топливо для того, чтобы сохранить повторно используемые детали, такие как топливные каналы, и если разборка топлива необходима перед хранением.

5.5. Оборудование для разборки и восстановления следует проектировать таким образом, чтобы сводить к минимуму последствия облучения и предотвращать перегрев топлива.

5.6. Оборудование для разборки и восстановления следует проектировать таким образом, чтобы сохранялась целостность твэлов. В проекте следует исключить возможность повреждения топлива за счет нагрузок, вызванных подъемом разобранных тепловыделяющих сборок или твэлов, другими операциями по обращению, такими как кантование, или изменениями в оболочке твэла.

5.7. При проектировании оборудования для разборки и восстановления следует предусмотреть надежные средства для отвода остаточного тепловыделения от облученного топлива и оборудования, используемого для очистки облученного топлива.

### **Оборудование для обращения с поврежденным топливом**

5.8. Следует обеспечить, чтобы оборудование для обнаружения повреждений тепловыделяющих сборок было способно обнаруживать повреждения облученных тепловыделяющих сборок без дальнейшего нарушения конструкционной целостности топлива.

5.9. Следует предусмотреть возможность помещения негерметичного топлива в соответствующие специальные контейнеры. Такие контейнеры должны выдерживать температуры и давления, являющиеся результатом остаточного тепловыделения облученного топлива и химических реакций между топливом или его оболочкой и окружающей водой.

5.10. При проектировании следует учитывать процедуры удаления поврежденных тепловыделяющих сборок, которые будут применяться. Следует проектировать специальные приспособления для манипулирования с поврежденным топливом, с тем чтобы обеспечить достаточный запас подкритичности, надлежащий отвод остаточного тепловыделения и защиту от радиации. Следует оговорить процедуры выдачи разрешений на использование нестандартного оборудования и применять строгие меры административного контроля.

5.11. Следует обеспечить, чтобы конструкция контейнеров для герметизации поврежденного топлива была совместима с условиями промежуточного хранения. Следует также обеспечить, чтобы их конструкция была совместима с условиями долгосрочного хранения или чтобы контейнеры могли быть разгружены безопасным образом и топливо было перемещено в подходящие контейнеры для долговременного хранения после периода промежуточного хранения.

## СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ И ОБРАЩЕНИЯ С ОБЛУЧЕННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ АКТИВНОЙ ЗОНЫ

5.12. Иногда облученные элементы активной зоны, которые не содержат топлива, помещаются в хранилище отработавшего топлива, и при обращении с ними применяются системы, предназначенные для обращения с облученным топливом. Облученные элементы активной зоны включают в себя такие элементы, как устройства управления реактивностью или устройства останова, внутризонные контрольно-измерительные приборы, нейтронные источники, ограничители расхода, топливные каналы, выгорающие поглотители и образцы материала реакторного корпуса.

5.13. В целом следует придерживаться рекомендаций по системам хранения и обращения с топливом, которые представлены в разделах 3 и 4. Особые соображения в отношении различных типов облученных элементов активной зоны представлены в пунктах 5.14–5.21.

### **Облученные элементы активной зоны**

5.14. В случае облученных элементов активной зоны особое внимание следует уделять следующим моментам:

- a) следует обеспечить надлежащее экранирование облученных элементов активной зоны;
- b) при необходимости инспектирования облученных элементов активной зоны следует предусмотреть блокировки и прочие меры, в зависимости от обстоятельств, для обеспечения защиты эксплуатационного персонала;
- c) там, где это необходимо, следует предусмотреть средства перемещения облученных элементов активной зоны в подходящий транспортный контейнер;
- d) следует предусмотреть установленные техническими условиями системы для хранения и захоронения, а также, при необходимости, инспекционные системы;
- e) при обращении с облученными элементами активной зоны следует уделять должное внимание защите хранящегося топлива и ограничению возможного распространения загрязнения;
- f) облученные элементы активной зоны не следует хранить в зонах хранения, предназначенных для необлученного топлива. При необходимости следует предусмотреть временное хранение таких узлов в хранилище для облученного топлива.

5.15. Следует учитывать процедуры удаления облученных элементов активной зоны, которые будут применяться. Следует проектировать специальные приспособления для манипулирования с облученными элементами активной зоны, с тем чтобы обеспечить достаточный запас подкритичности, надлежащий отвод остаточного тепловыделения и защиту от радиации. Следует оговорить процедуры выдачи разрешений на использование нестандартного оборудования и применять строгие меры административного контроля.

### **Источники нейтронов**

5.16. Следует предусмотреть достаточные средства экранирования и мониторинга с целью защиты эксплуатационного персонала от излучения нейтронных источников. При приемке транспортных контейнеров, содержащих источники нейтронов, следует проводить проверки загрязнений, и транспортные контейнеры для источников нейтронов следует четко маркировать в соответствии с требованиями регулирующего органа.

5.17. Источники нейтронов следует хранить отдельно от зоны хранения и обращения с облученным топливом и на достаточном расстоянии для обеспечения ослабления нейтронного воздействия, пока не будет подготовлено подходящее обоснование безопасности для обеспечения надлежащего экранирования или разъединения источников и сборок.

5.18. Следует предусмотреть меры для четкой идентификации всех источников нейтронов и применять меры административного контроля в их отношении.

### **Реакторные узлы повторного использования**

5.19. В реакторах большинства типов существуют некоторые элементы активной зоны и узлы тепловыделяющихборок, которые можно использовать повторно (например, топливные каналы в кипящих реакторах или сборки ограничителей потока в реакторах с водой под давлением). Эти узлы могут иметь высокую активность. Если такие узлы поступают на участки сборки для повторного использования, следует сводить к минимуму распространение загрязнения и радиационное облучение эксплуатационного персонала.

5.20. Следует обеспечить возможность инспектирования повторно используемых элементов, по мере необходимости, на предмет сохранения

их геометрической стабильности и отсутствия повреждений вследствие эксплуатации или обращения. В тех случаях, когда повторно используемые элементы содержат заменяемые детали (например, прокладки), следует обеспечить возможность инспектирования заменяемых элементов.

5.21. Зону хранения реакторных узлов повторного использования следует спроектировать таким образом, чтобы повторно используемые элементы не загрязнялись материалами, которые могут повлиять на целостность элементов реактора после повторной установки повторно используемых элементов.

## **6. ОБРАЩЕНИЕ С ТОПЛИВНЫМИ КОНТЕЙНЕРАМИ**

6.1. Оборудование для обращения с топливными контейнерами следует делать совместимым с оборудованием для подъема топлива и элементов, и оно должно включать в себя следующее:

- a) транспортные средства для перемещения контейнеров;
- b) краны и соответствующие подъемные устройства для контейнеров, крышек контейнеров и внутрикорпусных устройств контейнеров;
- c) оборудование для дезактивации;
- d) оборудование для радиационного мониторинга;
- e) системы опорожнения, промывки, продувки и вакуумной сушки контейнеров;
- f) приспособления для отсоединения крышек контейнеров;
- g) оборудование для испытания контейнеров;
- h) средства и устройства для предотвращения загрязнения внешних поверхностей контейнеров;
- i) средства определения течи в контейнерах;
- j) осветительное оборудование.

Эксплуатационные аспекты обращения с топливными контейнерами описаны в приложении.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ С ЦЕЛЬЮ ОБЛЕГЧИТЬ ОБРАЩЕНИЕ С КОНТЕЙНЕРАМИ ДЛЯ ОТРАБОТАВШЕГО ТОПЛИВА

6.2. По мере необходимости при проектировании оборудования для обращения с контейнерами для отработавшего топлива следует применять рекомендации, приведенные в пунктах 4.49–4.58, в части, касающейся классификации по безопасности, аттестации на воздействие окружающей среды, радиационной защиты и материалов.

6.3. Зону хранения отработавшего топлива следует проектировать таким образом, чтобы облегчить обращение с контейнерами с отработавшим топливом, которые будут вывозиться за пределы площадки. Рекомендации по проектированию контейнеров для отработавшего топлива приведены в SSG-15 (Rev. 1) [2].

6.4. В проект зоны хранения отработавшего топлива следует включать системы для дезактивации контейнеров перед транспортировкой или перемещением на хранение вне зоны хранения отработавшего топлива. Следует предусмотреть возможность проведения испытаний на герметичность, испытаний на поверхностное загрязнение и других необходимых испытаний контейнеров. Следует также предусмотреть возможность слива жидкостей, используемых для дезактивации или для промывки системы охлаждения контейнера (где уместно), и перемещения этих жидкостей в систему обращения с радиоактивными отходами.

6.5. Маршрут транспортировки по территории станции следует прокладывать по установленному пути безопасного перемещения грузов. Не следует допускать перемещения грузов над хранящимся топливом. Хранящееся топливо, облицовку бассейна выдержки отработавшего топлива, системы охлаждения и системы, важные для безопасности реактора, следует надлежащим образом защищать от падения или кантования топливного контейнера.

6.6. В соответствии с пунктом 6.67 (d) SSR-2/1 (Rev. 1) [1] системы обращения с топливом требуется проектировать таким образом, чтобы предотвращать падение тяжелых предметов, включая топливные контейнеры. Аварии с падением контейнера следует предотвращать с высокой степенью уверенности при помощи соответствующей конструкции крана, соответствующих регламентов инспектирования, испытаний и технического обслуживания крана и связанного с ним подъемного механизма, а также посредством соответствующей подготовки эксплуатационного

персонала. Если система подъема контейнеров такова, что отказ одного элемента может привести к падению недопустимо большого груза, следует использовать демфирующие устройства вместе с ограничениями на высоту подъема, чтобы смягчить потенциальные последствия.

6.7. Системы обращения с контейнерами для отработавшего топлива следует проектировать таким образом, чтобы предотвращать падение тяжелых грузов во время операций по перемещению и загрузке, а также во время и после проектного землетрясения.

6.8. Планировку зоны для обращения с контейнерами с облученным топливом следует сделать такой, чтобы вокруг контейнера имелось достаточное пространство для проведения инспекций, радиационного мониторинга и испытаний на дезактивацию. Следует отвести необходимое место для хранения контейнеров и соответствующего оборудования (такого как амортизаторы).

6.9. Следует ввести административные меры для обеспечения того, чтобы загрузка топлива, которое охлаждалось в течение недостаточного времени, или сочетания тепловыделяющих сборок, недопустимого в контейнере, не производилась.

## ВНЕШНИЕ ОПАСНОСТИ

6.10. Защиту оборудования для обращения с контейнерами с отработавшим топливом от воздействия внешних опасностей следует обеспечивать прежде всего за счет надлежащего проектирования здания, в котором оно устанавливается. Технические условия сейсмостойкого проектирования оборудования для обращения с контейнерами с отработавшим топливом следует определять исходя из последствий потенциальных повреждений тепловыделяющихборок внутри контейнера и необходимости эксплуатации оборудования для обращения с контейнерами во время и после землетрясения.

## ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА И КРАНЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ

6.11. Требования к мостовому подъемному оборудованию установлены в требовании 76 SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

6.12. В соответствии с требованием 80 SSR-2/1 (Rev. 1) [1] транспортные средства или краны, используемые для перемещения контейнеров, следует проектировать таким образом, чтобы ограничивать возможность падения или случайного кантования контейнеров. Транспортные средства и краны следует оснащать надежной тормозной системой, исключающей возможность их случайного перемещения. Следует рассмотреть возможность повышения надежности подъемно-транспортного оборудования до такой степени, чтобы падение груза могло считаться редко происходящим событием, например за счет использования кранов, не подверженных единичному отказу. Следует установить подходящие ограничения скоростей горизонтального и вертикального перемещения кранов для обеспечения безопасного обращения с контейнерами.

6.13. Требования в отношении перевозки топлива установлены в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSR-6 (Rev. 1) «Правила безопасной перевозки радиоактивных материалов», издание 2018 года [25]. Для того чтобы создать условия для соблюдения этих требований:

- а) на установке следует использовать оборудование радиационного мониторинга, способное, в зависимости от обстоятельств, производить измерение гамма-излучения, быстрых нейтронов и тепловых нейтронов, излучаемых контейнером;
- б) следует предусмотреть измерение поверхностного загрязнения внешних поверхностей контейнера для обеспечения выполнения требований SSR-6 (Rev. 1) [25], прежде чем контейнер покинет площадку АЭС.

6.14. Если топливо перемещается обратно в бассейн выдержки из сухого хранилища, то следует обеспечить надлежащее охлаждение контейнера и топлива.

## **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] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Storage of Spent Nuclear Fuel, IAEA Safety Standards Series No. SSG-15 (Rev. 1), IAEA, Vienna (в стадии подготовки).
- [3] 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).
- [4] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Лидерство и менеджмент для обеспечения безопасности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 2, МАГАТЭ, Вена (2017).
- [5] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Применение системы управления для установок и деятельности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GS-G-3.1, МАГАТЭ, Вена (2009).
- [6] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Система управления для ядерных установок, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GS-G-3.5, МАГАТЭ, Вена (2014).
- [7] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Цель и основные элементы государственного режима физической ядерной безопасности, Серия изданий МАГАТЭ по физической ядерной безопасности, № 20, МАГАТЭ, Вена (2014).
- [8] 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).
- [9] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Детерминистический анализ безопасности атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-2 (Rev. 1), МАГАТЭ, Вена (2023).
- [10] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Разработка и применение вероятностной оценки безопасности уровня 1 для атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-3, МАГАТЭ, Вена (2014).
- [11] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Разработка и применение вероятностной оценки безопасности уровня 2 для атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-4, МАГАТЭ, Вена (2014).
- [12] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Protection against Internal Hazards in the Design of Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. SSG-64, IAEA, Vienna (в стадии подготовки).
- [13] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Design of Nuclear Installations against External Events Excluding Earthquakes, IAEA Safety Standards Series No. SSG-68, IAEA, Vienna (в стадии подготовки).
- [14] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Seismic Design for Nuclear АЭС, IAEA Safety Standards Series No. SSG-67, IAEA, Vienna (в стадии подготовки).

- [15] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Design of Auxiliary Systems and Supporting Systems for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. SSG-62, IAEA, Vienna (2020).
- [16] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Классификация конструкций, систем и элементов атомных электростанций по безопасности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-30, МАГАТЭ, Вена (2023).
- [17] 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).
- [18] JAPAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, Codes for Nuclear Power Generation Facilities: Rules on Design and Construction for Nuclear Power Plants, JSME, Tokyo (2016) (на японском языке).
- [19] CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, General Requirements for Pressure-retaining Systems and Components in CANDU Nuclear Power Plants/Material Standards for Reactor Components for CANDU Nuclear Power Plants, N285.0-17/N285.6 Series-17, CSA, Toronto (2017).
- [20] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Управление старением и разработка программы долгосрочной эксплуатации атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-48, МАГАТЭ, Вена (2023).
- [21] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Criticality Safety in the Handling of Fissile Material, IAEA Safety Standards Series No. SSG-27, IAEA, Vienna (2014). (Готовится новая редакция данной публикации.)
- [22] АГЕНТСТВО ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ ОЭСР, ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, ЕВРОПЕЙСКАЯ КОМИССИЯ, МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА, МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, ПАНАМЕРИКАНСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, ПРОГРАММА ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ ПО ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ, ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ, Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности», Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 3, МАГАТЭ, Вена (2015).
- [23] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Аспекты радиационной защиты при проектировании атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-1.13, МАГАТЭ, Вена (2008). (Готовится новая редакция данной публикации.)
- [24] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Мониторинг окружающей среды и источников для целей радиационной защиты, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № RS-G-1.8, МАГАТЭ, Вена (2016). (Готовится новая редакция данной публикации.)
- [25] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Правила безопасной перевозки радиоактивных материалов, издание 2018 года, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSR-6 (Rev. 1), МАГАТЭ, Вена (2019).

## Приложение

### ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ОБРАЩЕНИЯ С КОНТЕЙНЕРАМИ ДЛЯ ОТРАБОТАВШЕГО ТОПЛИВА

А–1. Обращение с контейнерами для отработавшего топлива имеет свои особенности в зависимости от того, какая из двух следующих стратегий разгрузки применяется:

- a) разгрузка с погружением контейнера в приямок для разгрузки;
- b) разгрузка с подсоединением контейнера к днищу приямка для разгрузки.

А–2. Разгрузка с погружением контейнера включает в себя следующие действия:

- a) контейнер ввозится на первый этаж здания для обращения с топливом автомобильным или железнодорожным транспортом;
- b) с контейнера снимаются амортизаторы;
- c) контейнер наклоняется вертикально с помощью крана приемного зала;
- d) контейнер перемещается на уровень бассейна выдержки (например, на 20 м выше нижнего уровня бассейна) для установки в подготовительный приямок;
- e) после подготовки (заполнение, охлаждение, меры против загрязнения) контейнер передается в разгрузочный приямок;
- f) контейнер погружается путем заполнения разгрузочного приямка водой бассейна;
- g) снимается крышка, что является началом разгрузки тепловыделяющих сборок;
- h) когда загрузка контейнера тепловыделяющими сборками закончена, указанный выше процесс производится в обратном порядке.

А–3. Разгрузка с подсоединением контейнера к днищу разгрузочного приямка включает в себя следующие действия:

- a) контейнер ввозится в здание подготовки;
- b) с контейнера снимаются амортизаторы;
- c) контейнер наклоняется вертикально с помощью крана здания подготовки;
- d) контейнер перемещается на грузовую платформу;

- e) грузовая платформа перемещается в здание для обращения с топливом;
- f) после подготовки (удаление крышки, заполнение, охлаждение) контейнер подсоединяется к днищу разгрузочного приемка;
- g) после подсоединения контейнера в днище разгрузочного приемка открывается шлюз и начинается разгрузка топлива;
- h) когда разгрузка топлива закончена, указанный выше процесс производится в обратном порядке.

## СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ

Bourgue, L.	«Электрисите де Франс», Франция
Jones, S.	Комиссия по ядерному регулированию, Соединенные Штаты Америки
Kamimura, K.	Управление по ядерному регулированию, Япония
Kasahara, F.	Управление по ядерному регулированию, Япония
Khotylev, V.	Комиссия по ядерной безопасности Канады, Канада
Peytraud, J.-F.	«Электрисите де Франс», Франция
Poulat, B.	Международное агентство по атомной энергии
Sim, K.	Международное агентство по атомной энергии
Spielman, G.	«Брюс пауэр», Канада
Toth, C.	Международное агентство по атомной энергии
Yllera, J.	Международное агентство по атомной энергии





# IAEA

Международное агентство по атомной энергии

№ 27

## ЗАКАЗ ПУБЛИКАЦИЙ В СТРАНАХ

Платные публикации МАГАТЭ можно приобрести у нашего основного дистрибьютора или в крупных книжных магазинах. Заказы на бесплатные публикации следует направлять непосредственно в МАГАТЭ.

### Заказы на платные публикации

Просьба связаться с местным поставщиком по вашему выбору либо нашим основным дистрибьютором:

#### **Eurospan**

1 Bedford Row  
London WC1R 4BU  
United Kingdom

#### **Торговые заказы и справочная информация:**

Тел.: +44 (0)1235 465576  
Эл. почта: [trade.orders@marston.co.uk](mailto:trade.orders@marston.co.uk)

#### **Индивидуальные заказы:**

Тел.: +44 (0)1235 465577  
Эл. почта: [direct.orders@marston.co.uk](mailto:direct.orders@marston.co.uk)  
[www.eurospanbookstore.com/iaea](http://www.eurospanbookstore.com/iaea)

#### **Дополнительная информация:**

Тел.: +44 (0) 207 240 0856  
Эл. почта: [info@eurospan.co.uk](mailto:info@eurospan.co.uk)  
[www.eurospan.co.uk](http://www.eurospan.co.uk)

### Заказы на платные и бесплатные публикации можно направлять напрямую по адресу:

Издательская секция (Publishing Section)  
Международное агентство по атомной энергии  
Vienna International Centre  
PO Box 100  
1400 Vienna, Austria  
Телефон: +43 1 2600 22529 или 22530  
Эл. почта: [sales.publications@iaea.org](mailto:sales.publications@iaea.org)  
<https://www.iaea.org/ru/publikacii>





**Обеспечение безопасности с помощью международных норм**

**МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ  
ВЕНА**