

Нормы безопасности МАГАТЭ

для защиты людей и охраны окружающей среды

Проектирование защитной оболочки реактора и связанных с ней систем атомных электростанций

Руководство по безопасности
№ SSG-53



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

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.

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 ЗАЩИТНОЙ
ОБОЛОЧКИ РЕАКТОРА
И СВЯЗАННЫХ С НЕЙ СИСТЕМ
АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Членами Международного агентства по атомной энергии являются следующие государства:

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

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

СЕРИЯ НОРМ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ, № SSG-53

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИТНОЙ
ОБОЛОЧКИ РЕАКТОРА
И СВЯЗАННЫХ С НЕЙ СИСТЕМ
АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
СПЕЦИАЛЬНОЕ РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ

МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
ВЕНА, 2024

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКОМ ПРАВЕ

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

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

© МАГАТЭ, 2024

Отпечатано МАГАТЭ в Австрии

Январь, 2024

STI/PUB/1856

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ РЕАКТОРА
И СВЯЗАННЫХ С НЕЙ СИСТЕМ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
МАГАТЭ, ВЕНА, 2024 ГОД

STI/PUB/1856

ISBN 978-92-0-454923-2 (ISBN печатный формат) 978-92-0-454723-8
(ISBN формат pdf) 978-92-0-454823-5 (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 безопасности¹ 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).

¹ 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,

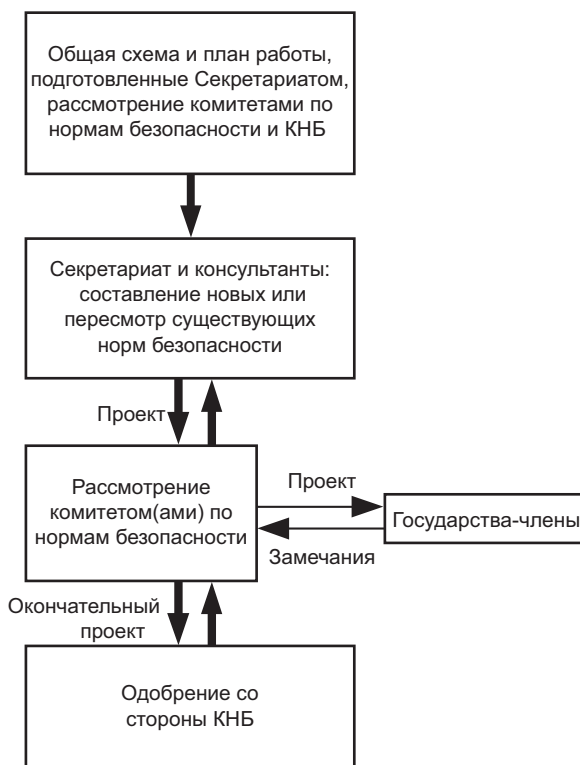


РИС. 2. Процесс разработки новых норм безопасности или пересмотр существующих норм.

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 (1.4–1.6)	2
	Область применения (1.7–1.11).....	2
	Структура (1.12)	4
2.	ФУНКЦИИ БЕЗОПАСНОСТИ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ И ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ (2.1).....	4
	Функции безопасности (2.2, 2.3).....	4
	Локализация радиоактивного материала (2.4–2.13)	5
	Защита от внешних и внутренних опасностей (2.14, 2.15).....	7
	Защита от излучения (2.16, 2.17).....	8
3.	ПРОЕКТНАЯ ОСНОВА КОНСТРУКЦИИ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ, ЕЕ ЭЛЕМЕНТОВ И СВЯЗАННЫХ С НЕЙ СИСТЕМ	9
	Общие сведения (3.1–3.5)	9
	Постулируемые исходные события (3.6–3.8)	10
	Внутренние опасности (3.9–3.12)	11
	Внешние опасности (3.13–3.22)	12
	Аварийные условия (3.23–3.45)	15
	Проектные пределы (3.46–3.50)	20
	Надежность (3.51–3.62).....	21
	Глубокошелонированная защита (3.63–3.65)	24
	Практическое исключение возможности возникновения событий, которые могут приводить к радиоактивному выбросу на ранней стадии или крупному радиоактивному выбросу (3.66–3.69).....	24
	Классификация по безопасности (3.70–3.75).....	26
	Аттестация на воздействие окружающей среды (3.76–3.84).....	27
	Своды положений и нормы (3.85–3.87)	29
	Использование вероятностного анализа безопасности при проектировании (3.88–3.90)	30

4.	ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ И СВЯЗАННЫХ С НЕЙ СИСТЕМ	30
	Общие сведения (4.1–4.18)	30
	Проектирование конструкций защитной оболочки (4.19–4.46)	35
	Структурное проектирование конструкций внутри защитной оболочки (4.47–4.57)	51
	Структурное проектирование систем (4.58)	53
	Управление выбросами массы и энергии (4.59–4.89)	53
	Контроль и ограничение радиоактивных выбросов (4.90–4.130)	59
	Контроль горючих газов (4.131–4.150)	67
	Механические средства защитной оболочки (4.151–4.180)	72
	Материалы (4.181–4.202)	78
	Контрольно-измерительные приборы (4.203–4.241)	82
5.	ИСПЫТАНИЯ И ИНСПЕКЦИИ (5.1, 5.2)	92
	Инспекции во время сооружения (5.3, 5.4)	92
	Испытания при вводе в эксплуатацию (5.5–5.19)	93
	Эксплуатационные испытания и инспекции (5.20–5.30)	96
	ДОПОЛНЕНИЕ: СТАНЦИИ, СПРОЕКТИРОВАННЫЕ СОГЛАСНО ПРЕЖНИМ СТАНДАРТАМ.	101
	СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	107
	СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ	109

1. ВВЕДЕНИЕ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Настоящее руководство по безопасности, посвященное проектированию защитной оболочки реактора и связанных с ней систем, содержит рекомендации по выполнению требований публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ № SSR-2/1 (Rev. 1) «Безопасность атомных электростанций: проектирование» [1] в отношении конструкций и систем защитной оболочки атомных электростанций. Настоящее руководство по безопасности представляет собой пересмотренный вариант публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ № NS-G-1.10 «Проектирование систем защитной оболочки реактора для атомных электростанций»¹ и заменяет ее.

1.2. В соответствии с требованием 4 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1], локализация радиоактивного материала на атомной электростанции, включая контроль сбросов и сведение к минимуму радиоактивных выбросов в окружающую среду, является фундаментальной функцией безопасности, которая должна обеспечиваться в любом эксплуатационном состоянии и в аварийных условиях. В соответствии с концепцией глубокоэшелонированной защиты обеспечение этой фундаментальной функции безопасности достигается путем использования нескольких барьеров и уровней защиты. В проектах атомных электростанций с целью предотвращения или контроля и ограничения выбросов и рассеивания радиоактивных веществ предусматривается прочная окружающая реактор конструкция (именуемая «защитной оболочкой») [2]. Более того, принимая во внимание массу и энергию, а также горючие газы, которые могут выделяться в случае аварии, необходимо наличие систем, спроектированных для сохранения целостности защитной оболочки или исключения ее байпасирования. В настоящем руководстве по безопасности системы, необходимые для нормальной эксплуатации, сведения к минимуму радиоактивных выбросов, отвода энергии из защитной оболочки или сохранения ее конструкционной целостности в аварийных условиях, называются «связанными системами» или просто «системами».

¹ МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Проектирование систем защитной оболочки реактора для атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ № NS-G-1.10, МАГАТЭ, Вена (2008).

1.3. Защитная оболочка и связанные с ней системы, о которых идет речь в настоящем руководстве по безопасности, включают в себя конструкцию защитной оболочки и системы, наделенные функциями изоляции, управления выбросами массы и энергии, контроля и ограничения радиоактивных выбросов, а также контроля горючих газов и обращения с ними. Это определение также применяется к двойным защитным оболочкам.

ЦЕЛЬ

1.4. Целью настоящего руководства по безопасности является предоставление рекомендаций по выполнению требований публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1] в отношении защитной оболочки и связанных с ней систем.

1.5. Настоящее руководство по безопасности предназначено для использования прежде всего на наземных стационарных атомных электростанциях с водоохлаждаемыми реакторами, предназначенными для производства электроэнергии или для других теплоэнергетических применений (таких, как централизованное теплоснабжение или опреснение). Признается, что в случае других типов реакторов, включая будущие системы электростанций с использованием инновационных разработок, некоторые из рекомендаций могут оказаться неприемлемыми или могут потребовать применения определенной оценки при их интерпретации.

1.6. Настоящее руководство по безопасности предназначено для использования организациями, ответственными за проектирование, изготовление, сооружение и эксплуатацию атомных электростанций, а также регулирующими органами.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

1.7. Рекомендации, представленные в настоящем руководстве по безопасности, ориентированы на применение прежде всего на новых атомных электростанциях. Ожидается, что для атомных электростанций, спроектированных с использованием ранее принятых норм, при оценке безопасности таких проектов будет проводиться сравнение с существующими нормами (например, в качестве части периодической переоценки станции) с целью определения того, можно ли еще более повысить безопасность эксплуатации с помощью практически осуществимых средств повышения безопасности: см. пункт 1.3 публикации

SSR-2/1 (Rev. 1) [1]. Дальнейшие руководящие материалы по применению рекомендаций в отношении существующих атомных электростанций представлены в Добавлении.

1.8. В настоящем руководстве по безопасности рассматриваются функциональные аспекты защитной оболочки и связанных с ней систем с точки зрения управления выбросами массы и энергии, а также обращения с радиоактивным материалом и горючими газами в реакторе в состояниях станции, учитываемых в границе проекта станции². В частности, были добавлены рекомендации относительно проектирования оборудования и систем, необходимых для смягчения запроектных условий без значительной деградации топлива и для запроектных условий с расплавлением активной зоны. Рассматривается также определение проектных основ защитной оболочки и связанных с ней систем, в частности, аспекты, влияющие на проектирование конструкций, надежность и независимость систем, образующих различные уровни защиты.

1.9. Представлены также рекомендации по проведению испытаний и инспекций, которые необходимы для обеспечения того, чтобы защитная оболочка и связанные с ней системы атомной электростанции могли выполнять назначенные им функции в течение всего срока службы атомной электростанции.

1.10. Проектные пределы и инженерно-технические критерии, а также параметры систем, которые следует использовать для их верификации, являются специфическими для конкретных проектов атомных электростанций и конкретных государств и поэтому выходят за рамки области применения настоящего руководства по безопасности. Тем не менее представлены общие рекомендации по этой тематике.

1.11. Вопросы, касающиеся локализации отработавшего ядерного топлива, выходят за рамки области применения настоящего руководства по безопасности. Рекомендации по этим вопросам представлены в публикациях Серии норм безопасности МАГАТЭ № NS-G-1.4 «Проектирование систем для обращения с топливом и его хранения на атомных электростанциях» [3] и № SSG-15 «Storage of Spent Nuclear Fuel» («Хранение отработавшего ядерного топлива») [4]. Вопросы, касающиеся локализации радиоактивных веществ в зданиях, таких как здание для обработки и хранения радиоактивных

² Выражение «граница проекта станции» используется для обозначения в упрощенной форме всех условий, постулируемых в проекте атомной электростанции.

эффлюентов или вспомогательное здание, также выходят за рамки области применения настоящего руководства по безопасности.

СТРУКТУРА

1.12. В разделе 2 описываются функции безопасности, относящиеся к защитной оболочке и связанным с ней системам, а также рассматриваются основные изложенные в публикации SSR-2/1 (Rev. 1) требования, которые необходимо учитывать. В разделе 3 представлены рекомендации относительно проектных основ конструкции защитной оболочки и ее элементов, а также связанных с ней систем. В разделе 4 приведены конкретные рекомендации по проектированию защитной оболочки и связанных с ней систем. В разделе 5 рассмотрены испытания и инспекции, а также изложены рекомендации в отношении пусконаладочных испытаний и испытаний и инспекций в процессе эксплуатации. Общие руководящие материалы по применению рекомендаций на существующих атомных электростанциях представлены в Добавлении.

2. ФУНКЦИИ БЕЗОПАСНОСТИ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ И ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ

2.1. В настоящем разделе рассматривается применение основных установленных в публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1] технических требований к проектированию защитной оболочки и связанных с ней систем.

ФУНКЦИИ БЕЗОПАСНОСТИ

2.2. Требование 54 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1] гласит:

«Должна быть предусмотрена система защитной оболочки, частично или полностью обеспечивающая выполнение на данной АЭС следующих функций безопасности: i) локализации радиоактивных веществ в эксплуатационных состояниях и аварийных условиях; ii) защиты реактора от внешних природных событий и событий техногенного происхождения; и iii) экранирования излучений в эксплуатационных состояниях и аварийных условиях».

2.3. Требуется определить и охарактеризовать условия, при которых должны быть выполнены эти функции безопасности, с тем чтобы определить различные элементы проектных основ соответствующих конструкций, систем и элементов (см. Требование 14 публикации SSR-2.1 (Rev. 1) [1]).

ЛОКАЛИЗАЦИЯ РАДИОАКТИВНОГО МАТЕРИАЛА

2.4. Требование 55 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1] гласит:

«Защитная оболочка должна быть спроектирована с таким расчетом, чтобы любые выбросы радиоактивного материала с АЭС в окружающую среду находились на разумно достижимом низком уровне, ниже разрешенных пределов сбросов в эксплуатационных состояниях и ниже допустимых пределов в аварийных условиях».

2.5. В случае эксплуатационных состояний ожидается, что годовая доза облучения, полученная людьми, проживающими в окрестности атомной электростанции, будет сопоставима с эффективной дозой от природного фона излучения (т.е. уровней, которые изначально существовали на площадке). Что касается облучения населения в ситуациях планируемого облучения, то предлагаемый диапазон значений граничной дозы, указанный в публикации Серии норм МАГАТЭ по безопасности № GSR Part 3 «Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности» [5], представляет собой повышение до 1 мЗв в год сверх дозы, полученной от источников излучения природного происхождения.

2.6. Требуется следующий подход к радиоактивным выбросам в аварийных условиях:

- a) в случае проектных аварий и запроектных условий без значительной деградации топлива выбросы сводятся к минимуму таким образом, чтобы не были необходимы защитные действия за пределами площадки (например, эвакуация, укрытие, йодная блокада щитовидной железы) (см. пункт 5.25 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1] и публикацию [6]);
- b) в случае запроектных условий с расплавлением активной зоны выбросы сводятся к минимуму таким образом, чтобы были необходимы только защитные действия за пределами площадки, ограниченные с точки зрения продолжительности и территории применения, а также было в наличии достаточное время для принятия таких мер (см. пункт 5.31А публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1] и публикацию [6]);

- c) аварийные последовательности, которые могут приводить к радиоактивному выбросу на ранней стадии или крупному аварийному выбросу, «практически исключены» благодаря соответствующим проектным решениям (см. пункты 2.11, 2.13 и 2.14 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1]);
- d) кроме того, защитная оболочка и связанные с ней системы проектируются таким образом, чтобы любой радиоактивный выброс находился на разумно достижимом низком уровне и был ниже разрешенных пределов сбросов в эксплуатационных состояниях и ниже приемлемых пределов в аварийных условиях (см. Требование 55 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1]).

2.7. Герметичность защитной оболочки исключительно важна для обеспечения локализации радиоактивного материала и сведения к минимуму радиоактивного выброса. Как правило, герметичность характеризуется заданными максимальными значениями скорости утечки (общей скоростью утечки и удельными скоростями утечки для проходок в защитной оболочке, воздушных шлюзов, люков и отсечных клапанов защитной оболочки), которые, как ожидается, не будут превышены в аварийных условиях. Оборудование, предназначенное для обеспечения выполнения функций защитной оболочки, требуется проектировать и подвергать аттестации с целью обеспечения того, чтобы защитная оболочка сохраняла целостность и герметичность до и во время преобладающих условий окружающей среды, для работы в которых необходимо это оборудование (см. Требования 30 и 55 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1]).

2.8. Изоляция защитной оболочки необходима для того, чтобы локализовать радиоактивные выбросы в атмосферу защитной оболочки, вызванные аварийными условиями (см. Требование 56 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1]).

2.9. В соответствии с Требованием 58 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1], для сохранения конструкционной целостности защитной оболочки в аварийных условиях требуется, по мере необходимости, предусматривать системы, спроектированные с целью обеспечения того, чтобы не превышались конкретные проектные пределы для защитной оболочки (например, в отношении давления, температуры и горючих газов). Необходимо обеспечивать наличие нескольких средств отвода тепла из защитной оболочки в аварийных условиях. Требуется, чтобы системы, специально предназначенные для работы в запроектных условиях с расплавлением активной зоны, были, насколько это практически возможно, независимы от систем безопасности (см. пункт 4.13A публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1]).

2.10. Требуется обеспечивать с соответствующими запасами конструкционную целостность строительных конструкций защитной оболочки и систем, необходимых для смягчения аварийных условий, принимая во внимание нагрузки или сочетания нагрузок, возникающие при воздействии опасностей или преобладающие в состояниях станции, во время которых требуется работа таких конструкций (см. Требование 42 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1]).

2.11. Независимо от множественности проектных решений, принятых с целью предотвращения развития аварии до возникновения состояния станции, связанного со значительным повреждением активной зоны, требуется постулировать набор наиболее вероятных репрезентативных условий расплавления активной зоны. Для таких условий требуется предусматривать дополнительные средства обеспечения безопасности, с тем чтобы сводить к минимуму радиоактивные выбросы (см. Требование 20 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1]).

2.12. Помимо проектных решений, осуществляемых с целью смягчения последствий постулируемых аварийных условий, необходимо также рассматривать возможность использования временного оборудования, а с целью предотвращения крупных выбросов радиоактивного материала и неприемлемого радиоактивного загрязнения за пределами площадки в аварийных условиях, выходящих за рамки условий, учитываемых в проекте, требуется устанавливать надлежащие точки подключения и интерфейсы со станцией (см. Требование 58 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1]).

2.13. В аварийных условиях высокоэнергетические явления, которые могут угрожать конструкционной целостности и герметичности защитной оболочки, требуется компенсировать посредством включения в конструкцию соответствующих средств для обеспечения того, чтобы возможность таких явлений можно было считать «практически исключенной» (см. Требования 20 и 58 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1]).

ЗАЩИТА ОТ ВНЕШНИХ И ВНУТРЕННИХ ОПАСНОСТЕЙ

2.14. В соответствии с Требованием 17 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1] защитную оболочку или защитную конструкцию необходимо проектировать таким образом, чтобы она защищала размещенные внутри защитной оболочки узлы, важные для безопасности, от последствий природных и техногенных внешних опасностей, выявленных при оценке опасности

для площадки, и от последствий внутренних опасностей, связанных с оборудованием, установленным на площадке. Следует учитывать причины и вероятность сочетания опасностей.

2.15. Защитная оболочка или защитная конструкция обеспечивает также защиту от последствий возможных злонамеренных действий, направленных против установки. Рекомендации и руководящие материалы по обеспечению физической безопасности представлены в публикациях Серии изданий МАГАТЭ по физической ядерной безопасности.

ЗАЩИТА ОТ ИЗЛУЧЕНИЯ

2.16. В эксплуатационных состояниях и аварийных условиях защитная оболочка вносит вклад в защиту персонала станции и населения от чрезмерного облучения, вызываемого прямым излучением радиоактивного материала внутри защитной оболочки. В соответствии с требованием 5 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1] состав и толщина бетона, стали и других материалов:

«должны быть спроектированы с таким расчетом, чтобы дозы излучения, получаемые работниками на станции и лицами из населения, не превышали дозовые пределы, чтобы в эксплуатационных состояниях они сохранялись на разумно достижимом низком уровне в течение всего срока службы станции и чтобы они оставались ниже допустимых пределов и на разумно достижимом низком уровне в аварийных условиях и после их возникновения».

2.17. Дозовые пределы для работников и населения в ситуациях планируемого облучения установлены в публикации GSR Part 3 [5].

3. ПРОЕКТНАЯ ОСНОВА КОНСТРУКЦИИ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ, ЕЕ ЭЛЕМЕНТОВ И СВЯЗАННЫХ С НЕЙ СИСТЕМ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

3.1. Проектирование защитной оболочки и связанных с ней систем следует проводить с учетом требований публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ № GSR Part 2 «Лидерство и менеджмент для обеспечения безопасности» [7] и Требований 1–3 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1]. Следует также учитывать рекомендации публикаций Серии норм безопасности МАГАТЭ № GS-G-3.1 «Применение систем управления для установок и деятельности» [8], и № GS-G-3.5 «Система управления для ядерных установок» [9].

3.2. При проектировании защитной оболочки и связанных с ней систем следует учитывать требования, рекомендации и руководящие материалы как по ядерной безопасности, так и по физической безопасности. Меры по обеспечению ядерной безопасности и физической безопасности следует разрабатывать и осуществлять комплексно, таким образом, чтобы меры по обеспечению физической безопасности не осуществлялись в ущерб ядерной безопасности, а меры по обеспечению ядерной безопасности не осуществлялись в ущерб физической безопасности. Рекомендации по физической ядерной безопасности изложены 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) [10].

3.3. В проектных основах защитной оболочки и связанных с ней систем следует учитывать все состояния станции (т.е. любые условия, возникающие при нормальной эксплуатации, ожидаемых при эксплуатации событиях, проектных авариях и запроектных условиях). В проектные основы для соответствующих конструкций, систем и элементов следует также включать сочетания нагрузок, создаваемые внутренними и внешними опасностями.

3.4. Проектные условия и проектные нагрузки следует рассчитывать, принимая во внимание граничные условия, определенные для каждого соответствующего состояния станции или каждой опасности.

3.5. Необходимые характеристики конструкций, систем и элементов для эксплуатационных состояний следует устанавливать на основании следующих потребностей:

- a) локализации радиоактивного материала;
- b) сведения к минимуму радиоактивных выбросов;
- c) содействия обеспечению защиты от излучения;
- d) поддержания давления и температуры в диапазоне, указанном для эксплуатационных состояний;
- e) установления и поддержания надлежащих условий окружающей среды в рабочих зонах;
- f) обеспечения необходимого доступа и эвакуации персонала и материалов;
- g) проведения конструкционных испытаний и испытаний на герметичность защитной оболочки;
- h) учета нагрузок, возникающих во время переходных режимов (например, нагрузок вследствие разностного теплового расширения и изменения температуры внешней окружающей среды).

Необходимо также принимать во внимание другие факторы, в том числе соображения физической ядерной безопасности (см. пункты 2.15 и 3.2).

ПОСТУЛИРУЕМЫЕ ИСХОДНЫЕ СОБЫТИЯ

3.6. В пунктах 3.7 и 3.8 представлены рекомендации по выполнению Требования 16 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

3.7. В постулируемые исходные события, актуальные для защитной оболочки и связанных с ней систем, следует включать отказы оборудования и ошибки, потенциально ведущие к аварийным условиям со значительным выбросом радиоактивного материала или значительным выбросом массы и энергии внутри защитной оболочки. Следует также учитывать постулируемые исходные события в режимах останова, с открытой защитной оболочкой или когда некоторые системы отключены для проведения технического обслуживания.

3.8. При проектировании защитной оболочки и связанных с ней систем следует учитывать перечисленные ниже постулируемые исходные события:

- a) крупные, средние и малые разрывы в системе теплоносителя реактора;

- b) крупные, средние и малые разрывы в системе главного паропровода или системе подачи питательной воды;
- c) отказы оборудования в системах транспортировки радиоактивных жидкостей или газов внутри защитной оболочки;
- d) аварии при обращении с ядерным топливом внутри защитной оболочки.

ВНУТРЕННИЕ ОПАСНОСТИ

3.9. В пунктах 3.10–3.12 представлены рекомендации по выполнению Требования 17 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1] в отношении внутренних опасностей. Более подробные рекомендации представлены в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ № NS-G-1.7 «Защита от внутренних пожаров и взрывов при проектировании атомных электростанций» [11].

3.10. Внутренние опасности, которые следует учитывать при проектировании — это те опасности, которые могут угрожать работоспособности защитной оболочки и связанных с ней систем. Перечень внутренних опасностей, которые обычно необходимо учитывать, приведен ниже для руководства. Этот перечень следует по мере необходимости дополнять с целью включения в него конкретных опасностей, имеющих отношение к проекту:

- a) разрывы в высокоэнергетических системах, находящихся внутри защитной оболочки или внутри зданий, в которых расположены системы для смягчения последствий аварийных условий;
- b) разрывы в содержащих радиоактивный материал системах или элементах, расположенных в защитной оболочке;
- c) отказ оборудования для обращения с ядерным топливом;
- d) падение тяжелых грузов;
- e) внутренние летящие предметы;
- f) пожары и взрывы;
- g) затопление.

3.11. Для защиты защитной оболочки и связанных с ней систем от воздействия внутренних опасностей следует принимать перечисленные ниже решения в отношении компоновки и проектирования:

- a) следует обеспечивать защиту защитной оболочки и связанных с ней систем от высокоэнергетических ударных воздействий (например, внутренних летящих предметов, биения труб, удара струй, тяжелых

грузов) или их следует проектировать таким образом, чтобы они выдерживали нагрузки, создаваемые такими ударными воздействиями, а также нагрузки, вызываемые взрывами;

- b) средства резервирования систем следует изолировать, насколько это возможно, или надлежащим образом разделять, а также их следует защищать, по мере необходимости, с целью предотвращения утраты функции безопасности, выполняемой системой (предотвращение отказов по общей причине, вызванных воздействием внутренних опасностей; см. Требование 24 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1]);
- c) следует обеспечивать, чтобы проектные меры, осуществляемые в отношении изоляции, разделения и защиты, также были надлежащими, с тем чтобы гарантировать, что реакция систем, описанная в анализе постулируемых исходных событий, остается действительной при рассмотрении последствий опасности;
- d) следует обеспечивать, чтобы одна и та же опасность не приводила к отказу по общей причине систем безопасности, спроектированных для контроля проектных аварий, и средств безопасности, требующихся для запроектных условий с расплавлением активной зоны.

3.12. В применяемых методах проектирования и строительных нормах следует предусматривать надлежащие запасы с целью недопущения пороговых эффектов в случае незначительного увеличения тяжести внутренних опасностей (см. также Требования 9 и 11 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1]).

ВНЕШНИЕ ОПАСНОСТИ

3.13. В пунктах 3.14–3.22 представлены рекомендации по выполнению Требования 17 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1] в отношении внешних опасностей. Более подробные рекомендации представлены в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ № NS-G-1.5 «Учет внешних событий, исключая землетрясения, при проектировании атомных электростанций» [12].

3.14. Руководящие материалы по типичным внешним опасностям и их соответствующему сочетанию, которые обычно необходимо учитывать, представлены в публикациях Серии норм безопасности МАГАТЭ № NS-G-1.5 [12] и Серии норм безопасности МАГАТЭ № NS-G-1.6 «Проектирование и аттестация сейсмостойких конструкций для атомных электростанций» [13]. Перечень

внешних опасностей, содержащийся в публикации № NS-G-1.5 [12], следует адаптировать или дополнить, по мере необходимости, включив в него опасности, специфические для конкретной площадки.

3.15. Защитную оболочку и здания, в которых размещены системы для смягчения последствий аварийных условий, следует проектировать таким образом, чтобы они выдерживали нагрузки, создаваемые внешними опасностями, и были защищены от любых воздействий, создаваемых соседними зданиями, которые не были спроектированы таким образом, чтобы выдерживать нагрузки от внешних опасностей.

3.16. Системы, требующиеся для управления выбросами массы и энергии, контроля радиоактивных выбросов и обращения с горючими газами в аварийных условиях, следует защищать от воздействия внешних опасностей или проектировать так, чтобы они выдерживали нагрузки, вызванные внешними опасностями. Для каждой опасности следует определить и указать в проектной основе элемента все элементы, которым необходимо сохранять работоспособность или целостность во время или после наступления опасности.

3.17. В методики проектирования следует включать меры проверки того, что существуют соответствующие запасы для недопущения пороговых эффектов в случае незначительного повышения тяжести внешних опасностей (см. Требования 9 и 11, а также пункт 5.21 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1]).

3.18. Краткосрочные действия, необходимые для выполнения инженерно-технических критериев, установленных для защитной оболочки на случай проектных аварий или запроектных условий, следует осуществлять с помощью стационарных систем (см. также пункт 5.17 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1]).

3.19. Следует обеспечивать, чтобы продолжительность автономной работы систем, спроектированных для управления выбросами массы и энергии, контроля радиоактивных выбросов и обращения с горючими газами внутри защитной оболочки во время аварийных условий, была такой, чтобы они оставались работоспособными дольше, чем время, необходимое для прибытия служб поддержки, находящихся за пределами площадки. Такая автономность может основываться на технических решениях, принятых на энергоблоке и на площадке, при условии, что учитывается потенциальная возможность того, что конкретные опасности приведут к одновременному

воздействию на несколько энергоблоков или даже на все энергоблоки на площадке (см. пункт 5.15B публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1]).

3.20. Пункт 5.21A публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1] гласит:

«При проектировании станции предусматривается также достаточный запас безопасности для защиты элементов, безусловно необходимых для предотвращения радиоактивных выбросов на ранней стадии или крупных радиоактивных выбросов в случае возникновения события с уровнями опасных природных явлений, превышающими предусмотренные в проекте уровни, которые были установлены на основе оценки опасностей на площадке».

В пунктах 3.21 и 3.22 представлены рекомендации по соблюдению этого требования.

3.21. Следует обеспечивать, чтобы запасы, предусмотренные проектом конструкций, систем и элементов, безусловно необходимых для предотвращения радиоактивного выброса на ранней стадии или крупного радиоактивного выброса, были достаточны, с тем чтобы целостность и работоспособность этих систем сохранялась в случае возникновения события, при котором природные опасности создают нагрузки, превышающие те, которые были определены при оценке опасностей на площадке. Подробный перечень таких конструкций, систем и элементов зависит от конкретного проекта. Приведенный ниже перечень представляет собой примеры конструкций, систем и элементов, которые могут быть рассмотрены:

- a) защитная оболочка;
- b) оборудование или конструкции, необходимые для локализации расплавленной активной зоны;
- c) системы, необходимые для отвода тепла из расплавленной активной зоны;
- d) системы, необходимые для отвода тепла из защитной оболочки и передачи тепла конечному поглотителю тепла при запроектных условиях;
- e) системы для предотвращения возникновения режимов сгорания газов, создающих угрозу нарушения целостности защитной оболочки;
- f) вентиляционная система защитной оболочки (если имеется);
- g) системы изоляции защитной оболочки.

3.22. В случае внешнего затопления все конструкции, вмещающие системы, перечисленные в пункте 3.21, следует располагать на высоте, превышающей ту, которая была определена при оценке опасностей для площадки; в противном случае для защиты этих конструкций следует применять инженерно-технические средства безопасности (например, водонепроницаемые двери) и следует обеспечивать проведение мероприятий по смягчению последствий.

АВАРИЙНЫЕ УСЛОВИЯ

Общие сведения

3.23. Аварийными условиями, которые следует считать актуальными для проектирования защитной оболочки и связанных с ней систем, являются такие условия, которые потенциально могут вызывать чрезмерные механические нагрузки или угрожать способности ограничивать радиоактивные выбросы в окружающую среду.

3.24. Аварийные условия следует использовать при определении потенциальных возможностей, нагрузок и условий окружающей среды в проекте защитной оболочки и связанных с ней систем. Следует обеспечивать, чтобы определение потенциальных возможностей, нагрузок и условий окружающей среды было основано, наряду с прочим, на изложенном ниже:

- a) масса и энергия, высвободившиеся в защитную оболочку в целом, как функция от времени;
- b) поддержание надлежащего запаса теплоносителя;
- c) теплоперенос к конструкциям защитной оболочки, а также к элементам и от элементов;
- d) механические нагрузки, как статические, так и динамические, на конструкцию защитной оболочки и ее отсеки;
- e) выбросы радиоактивного материала внутри защитной оболочки;
- f) количество радиоактивного материала в выбросах в окружающую среду;
- g) охлаждение, стабилизация и локализация расплавленной активной зоны (для стратегии удержания вне корпуса реактора);
- h) скорость образования и количество горючих газов, выделившихся внутри защитной оболочки.

3.25. В пунктах 3.26–3.28 представлены рекомендации по выполнению Требования 18 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

3.26. Насколько это практически возможно, своды положений и инженерно-технические правила, используемые при проектировании, следует оформлять документально, осуществлять их валидацию и в случае новых сводов положений по проектированию разрабатывать с использованием современных знаний и в соответствии с общепризнанными стандартами обеспечения качества. Следует обеспечивать, чтобы пользователи сводов положений по проектированию были аттестованы и подготовлены в части эксплуатации и пределов сводов положений, а также допущений, сделанных при проектировании.

3.27. Расчеты граничных условий проектных аварий и запроектных условий следует документировать с указанием соответствующих допущений при оценке используемых параметров, технических критериев и компьютерных кодов.

3.28. Компьютерные коды не следует использовать за пределами их определенной и задокументированной области валидации.

Проектные аварии

3.29. В пунктах 3.30 и 3.31 представлены рекомендации по выполнению Требования 19 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

3.30. Для характеристик защитной оболочки и связанных с ней систем условия, сохраняемые в качестве условий проектной аварии, следует рассчитывать, принимая во внимание менее благоприятные исходные условия и характеристики оборудования, а также единичный отказ, который наибольшим образом воздействует на характеристики систем безопасности. При введении соответствующего консерватизма следует учитывать, что:

- a) для одного и того же события подход, который признан консервативным при проектировании одной конкретной системы, может не быть консервативным для другой;
- b) принятие излишне консервативных допущений может приводить к нерепрезентативному анализу и учету чрезмерных нагрузок на элементы и конструкции.

3.31. Защитную оболочку и связанные с ней системы следует проектировать таким образом, чтобы при проектных авариях не требовалась вентиляция.

Запроектные условия

3.32. В пунктах 3.33–3.38 представлены рекомендации по выполнению Требования 20 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

3.33. В дополнение к проектным условиям следует также выявлять и использовать соответствующие запроектные условия с целью установления проектных основ защитной оболочки и связанных с ней систем, необходимых для достижения целей, установленных для этой категории аварий. Следует обеспечивать, чтобы в случае запроектных условий без значительной деградации топлива радиологические последствия были соизмеримы с последствиями, установленными для проектных аварий. Следует обеспечивать, чтобы в случае аварийных условий с расплавлением активной зоны радиоактивный выброс был таким, чтобы необходимые защитные действия за пределами площадки оставались ограниченными с точки зрения их продолжительности и зон применения.

3.34. Расчеты, выполненные с целью оценки запроектных условий, могут быть менее консервативными, чем расчеты в случае проектных аварий при условии, что запасы, необходимые для недопущения порогового эффекта, все еще достаточны для учета неопределенностей. В качестве средства определения ключевых параметров также полезно проведение анализа чувствительности.

3.35. Запроектные условия, касающиеся проектирования защитной оболочки и связанных с ней систем, следует определять на основе детерминированного подхода, подкрепленного вероятностным анализом и инженерной оценкой (см. Требование 42 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1]).

3.36. В случае запроектных условий без значительной деградации топлива, как правило, следует рассматривать три указанных ниже типа отказов:

- a) отказы оборудования, ведущие к выбросу массы и энергии, превышающему значения, постулируемые для проектных аварий (например, при авариях с потерей теплоносителя или разрыве паропровода острого пара);
- b) множественные отказы (например, отказы по общей причине в резервированных последовательно соединенных элементах) в

защитной оболочке и связанных с ней системах, которые не позволяют системам безопасности выполнять назначенные им функции, когда это требуется;

- с) множественные отказы, которые ведут к потере способности используемой системы безопасности выполнять фундаментальные функции безопасности при нормальной эксплуатации (например, системы переноса остаточного тепла).

3.37. Поскольку множественные отказы, вероятно, вызываются возникновением зависимых отказов, которые затем ведут к отказу систем безопасности, то для определения соответствующих возможностей в случае запроектных условий следует проводить анализ зависимостей между резервированными последовательно соединенными элементами систем, которые установлены с целью контроля нарастания давления или удаления энергии из защитной оболочки в случае проектной аварии.

3.38. Как правило, для запроектных условий следует учитывать перечисленные ниже условия, касающиеся проектирования защитной оболочки и связанных с ней систем:

- а) обесточивание станции;
- б) потеря средств, спроектированных для ограничения нарастания давления в случае проектной аварии;
- с) потеря системы передачи тепла, отводящей тепло из защитной оболочки к конечному поглотителю тепла;
- д) несрабатывание функции компенсации давления (кипящий реактор);
- е) потеря конечного поглотителя тепла.

3.39. В пунктах 3.40–3.45 содержатся рекомендации по выполнению Требований 20 и 68 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1] в отношении запроектных условий с расплавлением активной зоны.

3.40. В качестве исходных данных для проектирования защитной оболочки и средств безопасности, необходимых для смягчения последствий аварии с расплавлением активной зоны, следует использовать набор наиболее вероятных репрезентативных условий аварии с расплавлением активной зоны. Условия с расплавлением активной зоны, зафиксированные в качестве граничных условий при проектировании защитной оболочки и связанных с ней систем, следует обосновывать на основе вероятностного анализа безопасности уровня 2, дополненного инженерной оценкой, с тем чтобы

сделать возможным выбор надлежащих представительных и наиболее вероятных условий.

3.41. Аварии с расплавлением активной зоны следует постулировать в качестве запроектных условий вне зависимости от проектных решений, принятых с целью предотвратить возникновение таких условий, и независимо от оцененной вероятности их возникновения.

3.42. При проектировании средств безопасности для таких условий необходимо учитывать в качестве граничных условий запроектные условия с расплавлением активной зоны. Следует учитывать аспекты, воздействующие на развитие аварии и влияющие на реакцию защитной оболочки и параметры источника радиоактивного выброса. Эти аспекты включают в себя:

- a) состояние защитной оболочки (защитная оболочка открыта или байпасирована);
- b) количество радиоактивного материала, первоначально попавшего в защитную оболочку;
- c) давление в начале повреждения активной зоны;
- d) количество и концентрация горючих газов, выделившихся внутри защитной оболочки;
- e) временные характеристики повреждения защитной оболочки (ранний отказ системы аварийного охлаждения активной зоны (этап впрыска) или отказ долговременного охлаждения);
- f) состояние средств безопасности защитной оболочки (охлаждение защитной оболочки, орошение, система воздушного охлаждения, бассейн-барботер);
- g) состояние источников электропитания переменного и постоянного тока;
- h) состояние систем сжатого воздуха пневмосистем;
- i) состояние систем бассейнов выдержки отработавшего топлива, если они находятся внутри защитной оболочки.

3.43. Следует реализовывать проектные решения с целью предотвращения отказа защитной оболочки в случае запроектных условий. Следует обеспечивать, чтобы эти меры были направлены на предотвращение значительного избыточного давления в защитной оболочке, стабилизацию расплавленной активной зоны, удаление тепла из защитной оболочки и предотвращение режимов возгорания горючих газов, которые могут нарушить целостность защитной оболочки.

3.44. Следует внедрять множественные средства контроля нарастания давления в защитной оболочке в аварийных условиях, а вентиляцию (если имеется), следует использовать только в качестве последнего средства.

3.45. В случае запроектных условий, когда вентиляция защитной оболочки необходима для сохранения целостности защитной оболочки, следует обеспечивать, чтобы использование вентиляционной системы не приводило к радиоактивному выбросу на ранней стадии или крупному радиоактивному выбросу (см. пункт 6.28А публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1]). Для того, чтобы обеспечить это:

- a) систему вентиляции защитной оболочки следует оснащать фильтрами достаточной производительности и высокой эффективности;
- b) вентиляционную систему защитной оболочки следует проектировать таким образом, чтобы она выдерживала нагрузки, создаваемые внешними опасностями (включая природные явления, более опасные, чем те, которые были учтены при проектировании и определены на основе оценки опасностей для площадки), а также создаваемые давлением статические и динамические нагрузки, возникающие при эксплуатации системы вентиляции защитной оболочки;
- c) следует обеспечивать возможность надежного открытия и закрытия клапанов вентиляционного трубопровода;
- d) следует предпринимать меры по предотвращению превышения проектного предела в случае возникновения в защитной оболочке давления ниже атмосферного.

ПРОЕКТНЫЕ ПРЕДЕЛЫ

3.46. В пунктах 3.47–3.50 содержатся рекомендации по выполнению Требований 15 и 28 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1] в отношении проектных пределов, а также эксплуатационных пределов и условий безопасной эксплуатации.

3.47. Требуется оценивать характеристики защитной оболочки и связанных с ней систем на соответствие четко определенному и утвержденному³ набору проектных пределов и критериев.

³ Как правило, выражение «четко определенный и утвержденный» означает либо широко принятый регулирующими органами, либо предложенный международными организациями.

3.48. В качестве средства обеспечения выполнения общих функций безопасности защитной оболочки и связанных с ней систем во всех эксплуатационных режимах и аварийных условиях следует задать ряд первичных проектных пределов для защитной оболочки и связанных с ней систем. Эти первичные проектные пределы обычно выражаются как:

- a) общая скорость утечки из защитной оболочки при проектном давлении;
- b) прямые (нефильтрованные) утечки;
- c) пределы дозы и граничные дозы для населения (см. публикацию GSR Part 3 [5]), а также пределы радиоактивных выбросов, указанные для эксплуатационных состояний и аварийных условий;
- d) пределы дозы и граничные дозы для работников (см. публикацию GSR Part 3 [5]), а также максимальные мощности дозы для целей биологической защиты.

3.49. Проектные пределы следует также указывать для каждой конструкции и каждого элемента защитной оболочки.

3.50. Эксплуатационные пределы следует применять в отношении эксплуатационных параметров (например, максимальной температуры теплоносителя, минимального расхода воздушных холодильников) и оценочных показателей (например, максимального времени закрытия отсечных клапанов, величины утечки воздуха через проходку).

НАДЕЖНОСТЬ

3.51. В пунктах 3.52–3.62 представлены рекомендации по выполнению Требований 17, 21–26, 29, 30 и 68 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

3.52. Для достижения надлежащей надежности систем, необходимых для контроля энергии, радиоактивного материала и горючих газов, выделяющихся внутри защитной оболочки, следует учитывать перечисленные ниже факторы:

- a) классификацию по безопасности и связанные с ней технические требования к проектированию и изготовлению;
- b) проектные критерии, относящиеся к системам (количество трактов резервирования, квалификация на сейсмостойкость, аттестация на воздействие неблагоприятных условий окружающей среды, энергоснабжение);

- с) учет уязвимостей при отказах по общей причине (неодинаковость, разделение, независимость);
- d) связанные с компоновкой меры по защите системы от воздействия внутренних и внешних опасностей;
- e) периодические испытания и инспекции;
- f) техническое обслуживание;
- g) использование оборудования, спроектированного на безопасный отказ.

Системы, предназначенные для смягчения проектных аварий

3.53. Следует обеспечивать, чтобы в случае проектных аварий, несмотря на зависимые отказы, вызванные постулируемым исходным событием и единичным отказом, постулируемым в любой системе, необходимой для выполнения соответствующих функций безопасности, сохранялась возможность управления выбросами массы и энергии, а также контроля радиоактивных выбросов. Следует также учитывать неготовность систем, проходящих техническое обслуживание или ремонт.

3.54. Следует обеспечивать, чтобы аварийный источник энергоснабжения имел мощность, достаточную для питания электрооборудования, необходимого для управления выбросами массы и энергии, а также для контроля радиоактивных выбросов в случае проектной аварии.

3.55. Следует определять уязвимости к отказам по общей причине между трактами резервирования систем безопасности и следует, насколько возможно, осуществлять проектные или связанные с компоновкой меры, с тем чтобы сделать тракты резервирования независимыми.

3.56. Рекомендации, касающиеся защиты этих систем от воздействий внутренних опасностей, внешних опасностей и условий окружающей среды, рассматриваются соответственно в пунктах 3.10–3.12, 3.14–3.22 и 3.77–84.

Средства безопасности для запроектных условий без значительной деградации топлива

3.57. Необходимость наличия дополнительных средств безопасности зависит от реакторной технологии и проекта. Для того, чтобы определить потребность в дополнительных средствах безопасности с целью защиты целостности защитной оболочки, следует проводить анализ надежности систем безопасности, предназначенных для управления выбросами массы и энергии.

3.58. Следует анализировать наиболее вероятные сочетания постулируемых исходных событий и отказов по общей причине в трактах резервирования систем безопасности. Если последствия превышают пределы, установленные для проектных аварий, то следует устранять уязвимости к отказам по общей причине или следует реализовывать дополнительные проектные средства для разрешения данных ситуаций. Дополнительные средства управления выбросами массы и энергии следует разрабатывать и реализовывать таким образом, чтобы их отказ по одной и той же общей причине был маловероятен.

3.59. Следует обеспечивать, чтобы дополнительные средства безопасности были достаточно надежными и могли способствовать практическому устранению условий, которые могут приводить к радиоактивному выбросу на ранней стадии или крупному радиоактивному выбросу. Рекомендации, подобные представленным в пунктах 3.53–3.56 для систем, предназначенных для смягчения последствий проектных аварий, следует применять в отношении средств безопасности для запроектных условий без значительной деградации топлива, учитывая при этом, что выполнение критерия единичного отказа не является обязательным. Следует обеспечивать, чтобы дополнительные средства безопасности для запроектных условий без значительной деградации топлива запитывались от иного и неодинакового источника энергоснабжения (например, альтернативного источника энергоснабжения, установленного на атомной электростанции).

Средства безопасности для запроектных условий с расплавлением активной зоны

3.60. Следует обеспечивать, чтобы специализированные средства безопасности были достаточно надежными и способными выполнять предписанную им функцию безопасности.

3.61. Пункт 6.44В публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1] гласит: «Оборудование, которое требуется для смягчения последствий аварии с расплавом активной зоны, способно запитываться от любого имеющегося источника энергопитания».

3.62. Рекомендации, касающиеся защиты этих систем от воздействий внутренних опасностей, внешних опасностей и условий окружающей среды, рассматриваются в пунктах 3.10–3.12, 3.14–3.22 и 3.77–84.

ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННАЯ ЗАЩИТА

3.63. В пунктах 3.64 и 3.65 представлены рекомендации по выполнению Требования 7 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

3.64. Для управления выбросами массы и энергии, для контроля давления и температуры и для отвода тепла от защитной оболочки в различных состояниях станции следует реализовать различные системы.

3.65. Осуществлению принципа независимости способствуют следующие ниже рекомендации:

- a) следует определять принадлежащие разным уровням глубокоэшелонированной защиты последовательно соединенные узлы, необходимые для контроля давления внутри защитной оболочки или для отвода энергии из защитной оболочки;
- b) следует определять уязвимости к отказам по общей причине между такими узлами и следует оценивать их последствия. Там, где последствия для целостности защитной оболочки и для радиоактивных выбросов считаются неприемлемыми, следует по мере возможности устранять уязвимости к отказам по общей причине. В частности, следует обеспечивать, чтобы специализированные средства безопасности, предназначенные для смягчения последствий запроектных условий с расплавлением активной зоны, были достаточно независимыми от оборудования, предназначенного для смягчения условий внутри защитной оболочки, вызванных проектными авариями;
- c) следует обеспечивать, чтобы реализованной независимости систем не создавали опасность уязвимости к отказу по общей причине в системах контроля и управления, необходимых для безопасного срабатывания этих систем или мониторинга условий в защитной оболочке (более подробные рекомендации по системам контроля и управления см. в пунктах 4.204–4.241).

ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСКЛЮЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СОБЫТИЙ, КОТОРЫЕ МОГУТ ПРИВОДИТЬ К РАДИОАКТИВНОМУ ВЫБРОСУ НА РАННЕЙ СТАДИИ ИЛИ КРУПНОМУ РАДИОАКТИВНОМУ ВЫБРОСУ

3.66. Пункт 5.31 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1] гласит: «Проектирование должно проводиться с таким расчетом, чтобы “практически

исключалась” возможность возникновения условий, которые могут привести к радиоактивному выбросу на ранней стадии или крупному радиоактивному выбросу».

3.67. Исходя из области применения настоящего руководства по безопасности, в такие возможности следует включать:

- a) условия, связанные с высокоэнергетическими явлениями, последствия которых нельзя смягчить путем реализации разумных технических средств;
- b) аварию с расплавлением активной зоны в сочетании с байпасом защитной оболочки.

3.68. Типичные примеры условий, которые в значительной степени требуется практически исключать, включают в себя следующее:

- a) условия тяжелой аварии, при которой защитная оболочка может быть повреждена на раннем этапе в результате прямого нагрева защитной оболочки, парового взрыва или детонации водорода;
- b) условия тяжелой аварии, при которой целостность защитной оболочки может подвергнуться опасности на позднем этапе в результате сквозного проплавления границы опорной плиты или защитной оболочки⁴;
- c) условия тяжелой аварии при открытой защитной оболочке, особенно в режимах останова;
- d) условия тяжелой аварии с непреднамеренным байпасом защитной оболочки.

3.69. Следует обеспечивать, чтобы специализированные средства безопасности в достаточной мере надежно способствовали практическому исключению условий, которые могут привести к радиоактивному выбросу на ранней стадии или крупному радиоактивному выбросу.

⁴ Эти условия следует анализировать при определении ситуаций, которые следует практически исключать, даже если их последствия могут быть, как правило, смягчены реализацией разумных технических средств.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПО БЕЗОПАСНОСТИ

3.70. В пунктах 3.71–3.75 представлены рекомендации по выполнению Требования 22 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1]. Более подробные руководящие материалы представлены в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ № SSG-30 «Классификация конструкций, систем и элементов атомных электростанций по безопасности» [14].

3.71. Последствия отказа конструкции, системы или элемента следует учитывать как с точки зрения выполнения функции, так и с точки зрения радиоактивного выброса. Для узлов, для которых значимы оба типа последствий, класс безопасности и связанные с ним требования к качеству, необходимые для достижения ожидаемой надежности, следует определять с надлежащим учетом этих двух типов последствий. Для узлов, которые не вносят вклад в локализацию радиоактивного материала, класс безопасности и требования к качеству непосредственно вытекают из последствий, предполагая, что функция не выполнена.

3.72. Правила технического проектирования, применяемые к системе в целом (например, критерий единичного отказа, физическое и электрическое разделение, функциональная независимость, аварийное энергоснабжение, периодические испытания) следует формировать, исходя из класса безопасности, присвоенного системе, предполагая, что функция, выполняемая системой, не выполнена.

3.73. Классификацию по безопасности следует создавать последовательным образом, так, чтобы все системы, необходимые для выполнения одной функции безопасности, включая связанные вспомогательные обслуживающие системы, были отнесены к одному и тому же классу безопасности.

3.74. В соответствии с Требованием 9 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1], оборудование под давлением, которому присвоен класс безопасности, требуется проектировать и изготавливать в соответствии с апробированными сводами положений и нормами, широко применяемыми в ядерной промышленности (см. например, публикации [15–17]). Правила технического проектирования и изготовления, применяемые к каждому отдельному элементу, следует выбирать с надлежащим учетом двух последствий,

являющихся следствием его отказа (т.е. с точки зрения невыполненной(ых) функции(ий) и с точки зрения радиоактивного выброса)⁵.

3.75. Что касается выполнения рекомендаций, содержащихся в пунктах 3.71–3.74, и с точки зрения классификации по безопасности, представленной в публикации SSG-30 [14], то:

- a) в случае проектной аварии, системам, необходимым для изоляции защитной оболочки, контроля нарастания давления внутри защитной оболочки (например, спринклерной системе защитной оболочки), отвода тепла из защитной оболочки или переноса тепла от защитной оболочки к конечному поглотителю тепла, следует присваивать класс безопасности 1;
- b) системам, реализованным с целью обеспечения резервирования систем класса безопасности 1 в случае запроектных условий, следует присваивать по меньшей мере класс безопасности 2;
- c) системам, необходимым для сохранения целостности защитной оболочки в случае аварии с расплавлением активной зоны (например, вне реакторной системе охлаждения активной зоны, системе теплоносителя реактора, системе сброса давления, спринклерной системе защитной оболочки, системе отвода тепла из защитной оболочки, системе вентиляции и фильтрации, системе предотвращения детонации водорода, системе теплопередачи), следует присваивать по меньшей мере класс безопасности 3;
- d) защитной оболочке, проектируемой в качестве последнего физического барьера на пути выбросов, следует присваивать класс безопасности 1.

АТТЕСТАЦИЯ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

3.76. В пунктах 3.77–3.84 представлены рекомендации по выполнению Требования 30 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

⁵ В соответствии с международной практикой несущую давление оболочку элементов, которая является границей давления теплоносителя реактора, следует проектировать и изготавливать в соответствии с наилучшими сводами правил и нормами, определенными промышленностью для применения в ядерной отрасли, за исключением деталей границы давления теплоносителя реактора, отказ которых может привести к утечке, которая может быть компенсирована системой подпитки в эксплуатационном режиме.

3.77. Конструкции, системы и элементы следует аттестовать на выполнение ими назначенных функций на протяжении всего срока службы во всем диапазоне условий окружающей среды, которые могут преобладать до или во время их эксплуатации, или наоборот, их следует соответствующим образом защищать от воздействия этих условий окружающей среды.

3.78. При аттестации оборудования на воздействие окружающей среды следует принимать во внимание условия окружающей среды и сейсмические условия, которые могут превалировать до, во время и после аварии; старение конструкций, систем и элементов на протяжении срока службы станции; синергетические эффекты; и запасы. Более подробные рекомендации изложены в публикации № NS-G-1.6 [13] и публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ № SSG-48 «Управление старением и разработка программы долгосрочной эксплуатации атомных электростанций» [18].

3.79. Аттестацию на воздействие окружающей внешней среды следует проводить посредством испытаний, анализа и инженерной оценки или их сочетания.

3.80. В аттестацию на воздействие окружающей среды следует включать учет таких факторов, как температура, давление, влажность, уровни излучения, химические аспекты, локальное накопление радиоактивных аэрозолей, вибрация, водяной туман, ударное воздействие пара и затопление. Следует также учитывать запасы и синергетические эффекты (при которых повреждение из-за наложения или сочетания воздействий может превзойти сумму повреждений от отдельных воздействий). В случаях, когда возможны синергетические эффекты, следует аттестовать материалы на влияние наиболее тяжелых воздействий, наиболее тяжелых сочетаний или последовательностей воздействий.

3.81. При условии, что имеется соответствующее обоснование, могут применяться методики ускорения испытаний на старение и аттестации.

3.82. Для элементов, подверженных воздействию различных механизмов старения, следует устанавливать проектный срок службы и, при необходимости, периодичность замены. В процессе аттестации таких элементов перед их испытанием в условиях проектной аварии образцы элементов следует подвергать старению с целью имитации окончания их проектного срока службы.

3.83. Элементы, которые были использованы для аттестационных испытаний, как правило, не следует использовать в дальнейшем при сооружении, если только не показано, что условия и методы испытаний сами по себе не ведут к неприемлемому ухудшению характеристик безопасности.

3.84. Данные и результаты аттестации следует документировать в качестве части проектной документации.

СВОДЫ ПОЛОЖЕНИЙ И НОРМЫ

3.85. В пунктах 3.86 и 3.87 представлены рекомендации по соблюдению требований пункта 4.15 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

3.86. Национальные или международные своды положений и нормы могут применяться при проектировании конструкций и систем защитной оболочки при условии, что продемонстрирована применимость и пригодность этих сводов положений и норм. Следует обеспечивать, чтобы выбранные своды положений и нормы имели указанные ниже характерные признаки:

- a) следует обеспечивать, чтобы они были применимы к конкретной концепции проекта;
- b) следует обеспечивать, чтобы они представляли собой комплексный и всесторонний набор норм и критериев;
- c) желательно, чтобы они представляли собой новейшую редакцию сводов положений и норм в области проектирования и строительства (при условии надлежащего обоснования может быть использовано иное издание).

3.87. Различными национальными и международными организациями разработаны соответствующие своды положений и нормы, которые охватывают следующие области:

- a) обеспечение качества;
- b) материалы;
- c) проектирование конструкций элементов, работающих под давлением;
- d) строительные конструкции;
- e) контроль и управление;
- f) аттестация на воздействие окружающей внешней среды и сейсмическая квалификация на сейсмостойкость;
- g) пусковые и эксплуатационные инспекции и испытания;

h) противопожарная защита.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

3.88. Детерминированный подход следует дополнять вероятностным анализом безопасности посредством выявления дополнительных средств достижения сбалансированного проекта. Использование вероятностного анализа следует считать не заменой подхода к проектированию, основанного на детерминированных требованиях, а частью процесса выявления потенциальных улучшений безопасности и оценки их эффективности.

3.89. Вероятностный анализ безопасности следует использовать в поддержку демонстрации практического исключения некоторых условий, которые могут приводить к радиоактивному выбросу на ранней стадии или крупному радиоактивному выбросу. В частности, вероятностный анализ безопасности может использоваться для анализа средств изоляции защитной оболочки с целью предотвращения байпаса защитной оболочки и полного отказа систем управления выбросами массы и энергии.

3.90. Вероятностный анализ безопасности следует применять для подтверждения того, что средства смягчения запроектных условий с расплавлением активной зоны имеют весьма низкую вероятность отказа. В него следует включать анализ надежности связанных с защитной оболочкой систем (например, системы охлаждения защитной оболочки, фильтруемого сброса давления в защитной оболочке и других аспектов, которые традиционно учитываются при вероятностной оценке безопасности уровня 2).

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ И СВЯЗАННЫХ С НЕЙ СИСТЕМ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

4.1. Ряд систем зависит от конструкции и может отличаться с точки зрения принципов их проектирования (например, использование активных или пассивных систем управления выбросами массы и энергии и систем

внутриреакторного или внереакторного охлаждения активной зоны в случае аварии с расплавлением активной зоны). Тем не менее конструкции или системы, которые выполняют одну и ту же функцию в различных технологиях, следует проектировать в соответствии с одинаковыми проектными требованиями.

4.2. Вне зависимости от постоянных проектных решений в отношении проектных аварий и запроектных условий, как указано в пункте 6.28В публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1], «В проект должны также включаться средства, позволяющие безопасно использовать временное оборудование для восстановления возможности отвода тепла из защитной оболочки».

Компоновка и конфигурация защитной оболочки и связанных с ней систем

4.3. Компоновка и конфигурация защитной оболочки и связанных с ней систем зависят от проекта и в случае реакторных технологий, которые основаны на защитной оболочке с большим сухим объемом, значительно отличаются от тех, которые реализуются в случае технологий, основанных на защитной оболочке с бассейном-барботером.

4.4. При рассмотрении компоновки и конфигурации защитной оболочки следует учитывать указанные ниже факторы:

- a) необходимость воспринимать и поглощать большой выброс массы и энергии внутри защитной оболочки (см. пункты 4.59–4.89);
- b) обеспечение надлежащего разделения между участками систем безопасности и резервными средствами безопасности для запроектных условий, где это применимо;
- c) расположение узлов, важных для безопасности, и средства их защиты от воздействия внутренних опасностей;
- d) предоставление достаточного пространства и защиты для обеспечения того, что запланированное техническое обслуживание и эксплуатация могли проводиться без чрезмерного облучения персонала;
- e) предоставление необходимого пространства для доступа персонала и для мониторинга, испытаний, контроля, технического обслуживания и перемещения оборудования;
- f) оптимизация количества и местонахождения проходов в защитной оболочке, с тем чтобы предотвращать нефильтрованные утечки и обеспечивать доступ для инспектирования и испытаний;

- g) меры по облегчению предусматриваемых замен оборудования в течение срока службы станции;
- h) сведение к минимуму водоудержания с целью содействия обратному стоку воды и конденсатов в прямки защитной оболочки;
- i) проектирование нижней части защитной оболочки с целью облегчения сбора и идентификации утечек жидкостей.

Техническое обслуживание и доступность

4.5. В пунктах 4.6–4.10 приведены рекомендации по выполнению соответствующих частей Требований 6, 32 и 81, а также пункта 5.15 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1]. Рекомендации по физической ядерной безопасности, касающиеся предотвращения доступа посторонних лиц к системам, важным для безопасности, также следует учитывать и внедрять в комплексе с рекомендациями по безопасности, как это изложено в пунктах 2.15 и 3.2 и в публикации [10].

4.6. При проектировании следует принимать во внимание потенциальное профессиональное облучение, связанное с:

- a) выполнением действий в соответствии с аварийными эксплуатационными процедурами или руководствами по управлению тяжелыми авариями;
- b) подключением временного оборудования;
- c) проведением технического обслуживания систем, эксплуатируемых продолжительный период времени после начала аварии.

Дополнительные руководящие материалы по радиационной защите при профессиональном облучении приведены в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ № NS-G-1.13 «Аспекты радиационной защиты при проектировании атомных электростанций» [19] и публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ № GSG-7 «Радиационная защита при профессиональном облучении» [20].

4.7. Факторы, связанные с техническим обслуживанием, которые следует учитывать при проектировании, включают:

- a) предоставление надлежащего рабочего пространства, защиты, освещения, воздуха для дыхания, а также рабочих и подъездных площадок для обслуживающего персонала;

- b) предоставление надлежащих условий окружающей среды для работников и контроль этих условий;
- c) предоставление знаков опасности;
- d) обеспечение визуальной и звуковой сигнализации;
- e) предоставление систем связи.

4.8. Следует предусматривать возможность доступа к защитной оболочке и связанным с ней системам по всех эксплуатационных состояниях. Способность обеспечивать удержание доз облучения работников в пределах граничных доз будет определять, будет ли разрешен доступ во время эксплуатации на мощности, или же для того, чтобы разрешить такой доступ, потребуется останов станции.

4.9. Если предусматривается доступ в защитную оболочку во время эксплуатации на мощности, следует предпринимать меры с целью обеспечить наличие необходимых средств радиационной защиты и создать надлежащие рабочие условия для работников.

4.10. Следует предусмотреть по крайней мере один маршрут эвакуации из защитной оболочки, который при использовании не приведет к ухудшению ее целостности.

Действия оператора

4.11. В случае аварии оператору в течение определенного установленного срока не следует предпринимать каких-либо действий. В случае любого необходимого вмешательства оператору, прежде чем приступить к выполнению любых действий, следует иметь в распоряжении достоверную информацию, а также достаточное время для диагностирования и оценки условий на станции.

Совместное использование частей систем защитной оболочки разными энергоблоками

4.12. В пунктах 4.13 и 4.14 представлены рекомендации по соблюдению Требования 33 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

4.13. Требование 33 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1] гласит: **«Каждый энергоблок многоблочной АЭС имеет свои собственные системы безопасности и свои собственные средства безопасности для запроектных условий»**. В качестве примера соблюдения этого требования,

систему газоочистки, включая отводящую линию, работающую в аварийных условиях, не следует использовать совместно с другими системами.

4.14. Следует предусматривать средства, обеспечивающие коммуникации между энергоблоками многоблочной станции, с тем чтобы облегчать управление авариями, не учтенными при проектировании. Примером таких коммуникаций являются соединения с целью пополнения баков-хранилищ воды для защитной оболочки.

Эффекты старения

4.15. В пунктах 4.16 и 4.17 представлены рекомендации по соблюдению Требования 31 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

4.16. Следует определить влияющие на защитную оболочку и связанные с ней системы, механизмы старения, учтенные при проектировании и включенные в программу управления старением. Защитная оболочка может быть подвержена воздействию ряда явлений старения, таких как коррозия металлических элементов, ползучесть предварительно напряженной арматуры и уменьшение предварительного натяжения в предварительно напряженной защитной оболочке, снижение эластичности в эластомерных уплотнениях, усадка и растрескивание бетона и карбонизация бетона.

4.17. Следует предусматривать контроль старения защитной оболочки и определение непредвиденного ухудшения свойств или поведения защитной оболочки, проведение испытаний и инспектирование элементов, где это возможно, и периодическую замену узлов, характеристики безопасности которых подвержены ухудшению в результате воздействия процесса старения. Более подробные руководящие материалы приведены в публикации SSG-48 [18].

Вывод из эксплуатации

4.18. В проект атомной электростанции требуется включать средства для содействия выводу из эксплуатации и демонтажу оборудования, а также сведению к минимуму образования радиоактивных отходов (см. Требование 12 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1]). Более подробные рекомендации по этим аспектам представлены в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ № SSG-47 «Вывод из эксплуатации атомных электростанций, исследовательских реакторов и других установок ядерного топливного цикла» [21].

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ

Общие сведения о процессе проектирования

4.19. Фундаментальными параметрами, используемыми при проектировании защитной оболочки и связанных с ней систем, являются температура и давление, которые могут быть достигнуты во всех различных состояниях станции. Значения этих двух параметров, которые будут использоваться при проектировании, определяются на основе оценки условий в защитной оболочке для каждого состояния станции с учетом соответствующих методологий и правил оценки.

4.20. Следует задавать такое значение проектного давления, которое превышает значение максимального давления, которое будет создано при проектной аварии с наиболее мощным выбросом массы и энергии (т.е. пиковое давление, связанное с проектными авариями и запасом).

4.21. Проектную температуру следует задавать как значение наивысшей температуры, которая возникает при проектной аварии с наиболее мощным выбросом массы и энергии, рассчитанным консервативно.

4.22. Все значения давления и температуры, используемые в сочетаниях нагрузок, следует задавать с достаточными запасами с целью недопущения пороговых эффектов и принимая во внимание:

- a) неопределенности в количествах выделяющихся жидкостей и скоростях утечки с точки зрения как массы, так и энергии, включая химическую энергию реакций металл-вода;
- b) конструкционные допуски;
- c) неопределенности в отношении тепла распада;
- d) тепло, сохраняющееся в элементах;
- e) тепло, переданное в теплообменники;
- f) неопределенности в корреляциях скоростей теплопередачи;
- g) консервативные начальные условия.

4.23. Проектирование с учетом конкретной максимальной скорости утечки не является простым или чисто количественным процессом. Следует принимать во внимание ряд факторов, включая ограничение напряжений в аварийных условиях, надлежащий выбор элементов (например, отсечных клапанов), надлежащий выбор уплотнительных материалов, ограничение количества проходов в защитной оболочке и контроль качества сооружения. Насколько

это возможно, следует использовать имеющиеся эксплуатационные данные, опыт и практику.

4.24. Механическое поведение (напряжения и деформации) защитной оболочки, временно определенное на основе проектного давления и проектной температуры, следует проверять для всех сочетаний нагрузок, и следует обеспечивать, чтобы оно удовлетворяло соответствующим инженерно-техническим критериям целостности и герметичности защитной оболочки.

4.25. Механическую прочность защитной оболочки и связанных с ней систем следует оценивать с учетом ожидаемого диапазона событий и их ожидаемой вероятности в течение срока службы станции, включая воздействие периодических испытаний.

4.26. В стальных защитных оболочках функции несения нагрузки и обеспечения герметичности выполняются стальной конструкцией. Металлическую конструкцию следует защищать от пожаров и летящих предметов, образующихся внутри и вне защитной оболочки в результате воздействия на станцию внутренних и внешних опасностей.

Нагрузки и сочетания нагрузок

4.27. Предполагаемые нагрузки (статические и динамические) (см. таблицу 1) следует определять количественно и группировать в соответствии с вероятностью их возникновения на основании опыта эксплуатации и инженерной оценки.

4.28. Нагрузки и сочетания нагрузок следует определять с учетом:

- a) типа нагрузки (т.е. статическая или динамическая, общая или локальная);
- b) того, воздействуют ли нагрузки последовательно или одновременно (например, нагрузки при воздействии давления или температуры в случае аварии с потерей теплоносителя);
- c) физических барьеров, защищающих оборудование от воздействия опасностей;
- d) времени воздействия каждой нагрузки (во избежание нереалистичного наложения пиковых нагрузок, если они не могут возникнуть одновременно).

4.29. По окончании анализа количество нагрузок и их сочетаний может быть сокращено посредством их соответствующего группирования. Анализ следует выполнять только для наиболее тяжелых случаев.

4.30. Следует обеспечивать, чтобы стальная облицовка защитной оболочки (где это применимо) могла выдерживать воздействие приложенных нагрузок и принимать на себя относительные смещения облицовки и бетона защитной оболочки без ущерба для ее герметичности. При оценке прочности защитной оболочки не следует учитывать вклад в нее облицовки.

4.31. Следует учитывать любую дополнительную нагрузку при воздействии давления на бетонную защитную оболочку вследствие мгновенного повышения температуры оболочки во время аварийных условий.

4.32. Металлическую облицовку, конструкции, проходки и отсечные клапаны защитной оболочки следует защищать от воздействия внутренних опасностей или, в противном случае, их следует проектировать так, чтобы они выдерживали соответствующие нагрузки.

4.33. Для защитных оболочек с двойными стенками следует учитывать избыточное давление в пространстве между двумя стенками, вызванное разрывом высокоэнергетического трубопровода, если только такой разрыв не исключен проектом.

Инженерно-технические критерии

4.34. Инженерно-технические критерии герметичности и целостности защитной оболочки и ее вспомогательных узлов (проходок, систем изоляции, дверей и люков), как предложено в пунктах 4.35 и 4.36, следует устанавливать на основе пределов напряжений и деформаций для различных сочетаний нагрузок. Соблюдение критериев, представленных в международно признанных сводах положений и нормах, обеспечивает разумную уверенность в том, что конструкции и элементы способны выполнять назначенные им функции.

4.35. Следует продемонстрировать, что инженерно-технические критерии конструкционной целостности и герметичности соблюдаются с надлежащим запасом, позволяющим учитывать неопределенности и не допускать возникновения пороговых эффектов. Запасы, как правило, следует предусматривать путем применения методологий, используемых для определения проектных аварий и запроектных условий, а также путем

ТАБЛИЦА 1. ТИПИЧНЫЙ НАБОР НАГРУЗОК НА ЗАЩИТНУЮ ОБОЛОЧКУ, КОТОРЫЕ СЛЕДУЕТ УЧИТЫВАТЬ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Категория нагрузки	Нагрузка	Примечания
Предпусковые нагрузки	Статические	Нагрузки, связанные с массой конструкций или элементов, включая воздействие усадки и ползучести (для бетонной защитной оболочки)
	Динамические	Нагрузки, связанные, например, с ограничительными устройствами элементов
	Предварительное напряжение, эффекты ползучести	Только для предварительно нагруженных конструкций
	Нагрузки при сооружении и техническом обслуживании	Временные нагрузки, создаваемые строительным оборудованием или возникающие при хранении основных элементов
	Давление при испытании	См. раздел 5
	Температура при испытании	См. раздел 5
Нормальные или эксплуатационные нагрузки	Срабатывание разгрузочно-предохранительного клапана	Только для кипящих реакторов
	Открытие предохранительного клапана	Только для кипящих реакторов
	Воздухоочистка разгрузочно-предохранительного клапана	Только для кипящих реакторов

ТАБЛИЦА 1. ТИПИЧНЫЙ НАБОР НАГРУЗОК НА ЗАЩИТНУЮ
ОБОЛОЧКУ, КОТОРЫЕ СЛЕДУЕТ УЧИТЫВАТЬ НА СТАДИИ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ (продолжение)

Категория нагрузки	Нагрузка	Примечания
	Рабочее давление	При нормальной эксплуатации, включая переходные условия и останов
	Рабочая температура	При нормальной эксплуатации, включая переходные условия и останов
	Реакции трубопроводов	При нормальной эксплуатации, включая переходные условия и останов
	Ветровая	Максимальная скорость ветра, которая предполагается в течение срока службы станции; см. публикацию NS-G-1.5 [12]
Нормальные или эксплуатационные нагрузки	Нагрузки, связанные с окружающей средой и с конкретной площадкой	Например, снеговая нагрузка, гидростатические силы, связанные с уровнем грунтовых вод и экстремальными значениями температуры воздуха
	Внешнее давление	Нагрузки, возникающие при изменении давления как внутри, так и снаружи первичной защитной оболочки
	Экстремальные скорости ветра	Нагрузки, вызванные экстремальными скоростями ветра (т.е. максимальной скоростью ветра, связанной с площадкой)
Нагрузки, вызванные экстремальными внешними событиями	Проектное землетрясение	См. публикацию № NS-G-1.6 [13]

ТАБЛИЦА 1. ТИПИЧНЫЙ НАБОР НАГРУЗОК НА ЗАЩИТНУЮ ОБОЛОЧКУ, КОТОРЫЕ СЛЕДУЕТ УЧИТЫВАТЬ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ (продолжение)

Категория нагрузки	Нагрузка	Примечания
	Нагрузки, связанные с экстремальными скоростями ветра	Связанные с этим летящие предметы, подлежащие учету
	Падение летательного аппарата	См. публикацию № NS-G-1.5 [12]
	Внешний взрыв	См. публикацию № NS-G-1.5 [12]
Нагрузки при авариях	Давление при проектной аварии	Расчетное пиковое давление при проектной аварии
	Температура при проектной аварии	Расчетная пиковая температура при проектной аварии
	Расчетное давление	Давление при проектной аварии плюс запасы
	Проектная температура	Температура при проектной аварии плюс запасы (применяется как универсальное значение)
	Реакции трубопроводов при проектной аварии	См. публикацию № NS-G-1.7 [11]
	Ударное воздействие струи и/или биеение трубопроводов	См. публикацию № NS-G-1.7 [11]
Нагрузки при авариях	Локальные воздействия после проектной аварии	См. публикацию № NS-G-1.7 [11]

ТАБЛИЦА 1. ТИПИЧНЫЙ НАБОР НАГРУЗОК НА ЗАЩИТНУЮ ОБОЛОЧКУ, КОТОРЫЕ СЛЕДУЕТ УЧИТЫВАТЬ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ (продолжение)

Категория нагрузки	Нагрузка	Примечания
	Динамические нагрузки, связанные с проектной аварией	Нагрузки, зависящие от конструкции (например, для кипящих реакторов: нагрузки при очистке сбросного трубопровода, увеличение объема бассейна выдержки, колебания при конденсации, «пульсирование» сбросного трубопровода)
	Давление при запроектных условиях	Расчетное пиковое давление в наиболее тяжелых условиях (профиль, зависящий от пикового значения и времени)
	Температура при запроектных условиях	Расчетная пиковая температура в наиболее тяжелых условиях (профиль, зависящий от пикового значения и времени)
	Срабатывание системы сброса давления	Сброс давления в первом контуре (где это применимо)
	Внутреннее затопление	См. публикацию № NS-G-1.7 [11]

применения апробированных компьютерных кодов для определения предельных напряжений в конструкциях.

4.36. Проектные пределы следует определять в соответствии с ожидаемыми характеристиками (см. пункты 3.46–3.50). Проектные запасы следует представлять с помощью одного или обоих указанных ниже методов:

- а) ограничивая напряжения и деформации на уровне конкретной части предела прочности данного материала;
- б) используя подход с учетом коэффициента нагрузки (т.е. увеличивая прикладываемые нагрузки с определенным коэффициентом).

4.37. При проектировании конструкционной целостности защитной оболочки следует учитывать указанные ниже уровни:

- a) уровень I: область упругих деформаций. Не возникает постоянная деформация или повреждение конструкции защитной оболочки. Конструкционная целостность обеспечивается с большими запасами;
- b) уровень II: небольшие постоянные деформации. Возможные локальные постоянные деформации. Конструкционная целостность обеспечена, хотя и с меньшими запасами, чем при уровне I.

4.38. При проектировании герметичности следует учитывать указанные ниже уровни:

- a) уровень I: герметичная конструкция. Утечки из защитной оболочки ниже проектного значения⁶ и не могут коррелировать с внутренним давлением на основании анализа, опыта и результатов испытаний;
- b) уровень II: возможное ограниченное увеличение скорости утечки. Скорость утечки может превышать проектное значение, однако герметичность можно надлежащим образом оценить на основе анализа, опыта и результатов испытаний.

4.39. Конкретные сочетания нагрузок зависят от проекта. В таблице 2 представлен минимальный набор рекомендуемых сочетаний нагрузок и инженерно-технических критериев для типичной защитной оболочки реактора с водой под давлением.

4.40. Для того чтобы предусмотреть запасы, следует сочетать нагрузки, являющиеся следствием землетрясения уровня SL-2⁷ и проектных аварий, используя соответствующее статистическое сочетание нагрузок (например, в виде квадратного корня суммы квадратов нагрузок), даже несмотря на то, что в реальности одно из этих событий не может быть следствием другого, поскольку граница давления первого контура реактора проектируется

⁶ В этом контексте «проектное значение» — это значение величины утечки, установленное в качестве целевого в проекте и используемое в анализе безопасности для определения радиоактивных выбросов при проектном давлении и проектной температуре.

⁷ «Землетрясение уровня SL-2» означает уровень колебания грунта, ассоциируемый с максимальным землетрясением, которое следует учитывать при проектировании, часто называемым «максимальным расчетным землетрясением».

ТАБЛИЦА 2. СОЧЕТАНИЯ НАГРУЗОК И ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ДЛЯ ТИПИЧНОЙ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ РЕАКТОРА С ВОДОЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Описание нагрузки	Проектная	Испытательная	При нормальной эксплуатации	При нормальной эксплуатации и экстремальной скорости ветра	Землетрясение уровня SL-2 ^a	Внешнее давление	ПА	SL-2 плюс ПА	Падение летательного аппарата	Пожар	Внешний взрыв	ЗУ без значительного повреждения топлива	ЗУ с распылением активной зоны
Статическая	X ^b	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Динамическая	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Предварительное напряжение (если применимо)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Испытательное давление		X											
Испытательная температура		X											
Длительные нагрузки		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

ТАБЛИЦА 2. СОЧЕТАНИЯ НАГРУЗОК И ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ДЛЯ ТИПИЧНОЙ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ РЕАКТОРА С ВОДОЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ (продолжение)

Описание нагрузки	Проектная	Испытательная	При нормальной эксплуатации	При нормальной эксплуатации и экстремальной скорости ветра	Землетрясение уровня SL-2 ^a	Внешнее давление	ПА	SL-2 плюс ПА	Падение летательного аппарата	Пожар	Внешний взрыв	ZV без значительного повреждения топлива	ZV с распылением активной зоны
Эксплуатационные нагрузки			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Рабочая температура			x	x	x	x			x		x		
Реакции трубопроводов			x	x	x	x			x	x	x		
Экстремальные ветры				x									
Внешнее давление						x							
Землетрясение уровня SL-2					x			x					

ТАБЛИЦА 2. СОЧЕТАНИЯ НАГРУЗОК И ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ДЛЯ ТИПИЧНОЙ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ РЕАКТОРА С ВОДОЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ (продолжение)

Описание нагрузки	Проектная	Испытательная	При нормальной эксплуатации	При нормальной эксплуатации и экстремальной скорости ветра	Землетрясение уровня SL-2 ^a	Внешнее давление	ПА	SL-2 плюс ПА	Падение летательного аппарата	Пожар	Внешний взрыв	ЗУ без значительного повреждения топлива	ЗУ с расплавлением активной зоны
Проектное давление	x												
Проектная температура	x												
Давление при ПА							x	x					
Температура при ПА							x	x					
Реакции трубопроводов при ПА							x	x					

ТАБЛИЦА 2. СОЧЕТАНИЯ НАГРУЗОК И ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ДЛЯ ТИПИЧНОЙ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ РЕАКТОРА С ВОДОЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ (продолжение)

Описание нагрузки	Проектная	Испытательная	При нормальной эксплуатации	При нормальной эксплуатации и экстремальной скорости ветра	Землетрясение уровня SL-2 ^a	Внешнее давление	ПА	SL-2 плюс ПА	Падение летательного аппарата	Пожар	Внешний взрыв	ЗУ без значительного повреждения топлива	ЗУ с расплавлением активной зоны
Падение летательного аппарата									x				
Пожар										x			
Внешний взрыв											x		
ЗУ с расплавлением активной зоны (давление)													x
ЗУ с расплавлением активной зоны (температура)													x

ТАБЛИЦА 2. СОЧЕТАНИЯ НАГРУЗОК И ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ДЛЯ ТИПИЧНОЙ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ РЕАКТОРА С ВОДОЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ (продолжение)

Описание нагрузки	Прокатная	Испытательная	При нормальной эксплуатации	При нормальной эксплуатации и экстремальной скорости ветра	Землетрясение уровня SL-2 ^a	Внешнее давление	ПА	SL-2 плюс ПА	Падение летательного аппарата	Пожар	Внешний взрыв	ЗУ без значительного повреждения топлива	ЗУ с распылением активной зоны
	ЗУ без значительного повреждения топлива (давление)											x	
ЗУ без значительного повреждения топлива (температура)												x	
Инженерно-технические критерии для стальной защитной оболочки:													
Конструкционная целостность	Г ^c	I	I	I	II ^d	II	I	II	н.п. ^e	II	н.п.	II	II

ТАБЛИЦА 2. СОЧЕТАНИЯ НАГРУЗОК И ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ДЛЯ ТИПИЧНОЙ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ РЕАКТОРА С ВОДОЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ (продолжение)

Описание нагрузки	Проектная	Испытательная	При нормальной эксплуатации	При нормальной эксплуатации и экстремальной скорости ветра	Землетрясение уровня SL-2 ^a	Внешнее давление	ПА	SL-2 плюс ПА	Падение летательного аппарата	Пожар	Внешний взрыв	ЗУ без значительного повреждения топлива	ЗУ с распылением активной зоны
-------------------	-----------	---------------	-----------------------------	--	--	------------------	----	--------------	-------------------------------	-------	---------------	--	--------------------------------

Примечание: ПА — проектная авария; ЗУ — запроектные условия; SL-2 — сейсмический уровень 2.

^a Уровень колебания грунта, ассоциируемый с максимальным землетрясением, которое следует учитывать при проектировании, часто называемого «максимальным расчетным землетрясением».

^b х: Нагрузку следует учитывать.

^c I: Следует применять критерии уровня I.

^d II: Следует применять критерии уровня II.

^e н.п.: не применимо.

таким образом, чтобы выдерживать сейсмические нагрузки, вызванные землетрясением уровня SL-2 (см. публикацию NS-G-1.6 [13]).

Локальные напряжения и усталость

4.41. Следует производить оценку локальных напряжений, включая напряжения в зонах сварных швов, около опор и в зонах с изменяющейся геометрией, и их влияния на механические характеристики конструкций, включая скорости утечки.

4.42. В случае защитных оболочек из предварительно напряженного бетона особое внимание следует уделять:

- a) зонам с малой величиной предварительного напряжения, таким как зоны вокруг больших проходок и переходные зоны между цилиндрической частью и опорной плитой защитной оболочки;
- b) концентрации напряжений вблизи проходок и около креплений предварительно напряженной арматуры;
- c) последовательности натяжения во время строительства.

4.43. В случае защитных оболочек с металлической облицовкой критическими зонами являются также зоны крепления облицовки к бетону и соединения облицовки с другими металлическими конструкциями, такими как проходки. Следует анализировать и учитывать локальные воздействия напряжений в этих зонах.

Предельная прочность и виды отказов

4.44. Для определения предельной способности несения нагрузки защитной оболочкой и ее способности обеспечивать локализацию следует провести общую оценку поведения конструкции защитной оболочки. При проведении этой оценки следует учитывать статические нагрузки (давление, температуру и воздействия трубопроводов) и динамические нагрузки (сейсмические), а также определять наиболее ограничивающие участки с целью оценки запасов.

4.45. Следует также учитывать локальные эффекты, перепады температур и детали конструкции, с тем чтобы определить возможные механизмы крупных течей. В этой связи особое внимание следует уделять поведению проходок трубопроводов, мягких уплотняющих материалов, проходок для электрических кабелей и конструкционным особенностям.

4.46. Следует проанализировать различные виды отказов, такие как разрыв облицовки, отказы проходок, разрыв арматурных стержней, локальное разрушение бетона и отказы предварительно напряженной арматуры. Следует обеспечивать, насколько это возможно, чтобы отказ не был катастрофическим и не причинял дополнительного ущерба системам и элементам, предназначенным для удержания радиоактивного материала.

СТРУКТУРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ВНУТРИ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ

4.47. Следует учитывать возможность больших выбросов массы и энергии внутри защитной оболочки и необходимость того, чтобы внутренние конструкции выдерживали перепады давления, которые могут возникать между различными отсеками. Для каждого отсека следует рассмотреть самое неблагоприятное место с точки зрения разрыва. При анализе на стадии проектирования влияния проемов между отсеками следует исходить из консервативного подхода и следует провести проверку того, что по завершении строительства эти проемы не будут непреднамеренно загромождены.

4.48. Следует учитывать, что внутренние конструкции должны выдерживать нагрузки, связанные с аварийными условиями, а также динамические нагрузки, вызываемые высокоэнергетическими выбросами или разрывами трубопроводов (например, течь воды на сбросной нитке от предохранительных клапанов и разгрузочных клапанов к бассейну-барботеру, набухание уровня воды в бассейне, колебание водного конденсата, резкое изменение параметров и другие соответствующие гидравлические явления).

4.49. В случае запроектных условий с расплавлением активной зоны нагрузки на конструкции внутри защитной оболочки зависят от стратегии исправления ситуации с расплавленной активной зоной, принятой в конкретном проекте.

4.50. В случае запроектных условий с расплавлением активной зоны следует соблюдать сочетания нагрузок и инженерно-технические критерии герметичности и целостности, представленные в таблице 2, и в любых стратегиях проектирования с целью удержания расплавленной активной зоны (т.е. удержания внутри или вне корпуса реактора) следует практически исключать условия для сквозного проплавления границы защитной оболочки или опорной плиты (см. пункт 3.68).

Стратегия удержания внутри корпуса реактора

4.51. В этой стратегии предусматривается, что тепло от расплавленной активной зоны удаляется через стенку корпуса реактора. При этом требуется, чтобы шахта реактора была заполнена водой для обеспечения внешнего охлаждения корпуса реактора. Следует учитывать механические и тепловые нагрузки на стенки шахты. Следует предусматривать средства отвода тепла из шахты и предотвращения повышения давления в шахте и защитной оболочке.

4.52. Конструкции шахты и систем, используемых для реализации стратегии удержания внутри корпуса реактора, следует рассматривать в качестве узлов, крайне необходимых для предотвращения крупных выбросов; поэтому их следует проектировать таким образом, чтобы проектные запасы были достаточны и позволяли выдерживать сейсмические нагрузки, превышающие сейсмический уровень SL-2 (см. пункт 5.21A публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1]).

Стратегия удержания вне корпуса реактора

4.53. В этой стратегии защитную оболочку следует оборудовать вне реакторной удерживающей конструкцией, предназначенной для удержания и охлаждения расплавленной активной зоны вне корпуса реактора.

4.54. Вне реакторную удерживающую конструкцию следует проектировать с целью сведения к минимуму горючих газов, образующихся в процессе взаимодействия бетона с расплавленной активной зоной.

4.55. Следует обеспечивать, чтобы конструкции и система охлаждения, необходимые для реализации стратегии удержания вне реактора, отвечали предъявляемым требованиям и были спроектированы с целью стабилизации и локализации расплавленной активной зоны во внутреннем объеме.

4.56. Следует обеспечивать, чтобы конструкции, элементы и материалы, используемые в стратегии удержания вне корпуса реактора, отвечали предъявляемым требованиям и выдерживали различные нагрузки и воздействия, вызванные проникновением расплавленной активной зоны в различные элементы вне реакторной удерживающей конструкции.

4.57. Конструкции и элементы, необходимые для реализации стратегии удержания вне корпуса реактора, следует рассматривать в качестве узлов,

крайне необходимых для предотвращения крупных выбросов; поэтому их следует проектировать таким образом, чтобы проектные запасы были достаточны и позволяли выдерживать сейсмические нагрузки, превышающие сейсмический уровень SL-2 (см. пункт 5.21А публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1]).

СТРУКТУРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ

4.58. Для систем защитной оболочки следует создать с помощью подхода, подобного используемому при проектировании защитной оболочки и с учетом всех соответствующих аварийных условий, набор репрезентативных нагрузок и их сочетаний, а также набор надлежащих инженерно-технических критериев.

УПРАВЛЕНИЕ ВЫБРОСАМИ МАССЫ И ЭНЕРГИИ

4.59. «Управление выбросами массы и энергии» — это термин, используемый для описания управления конструктивными особенностями защитной оболочки, которые влияют на энергетический баланс внутри защитной оболочки и тем самым играют определенную роль в поддержании давления и температуры в приемлемых пределах.

Контроль давления и температуры в эксплуатационных состояниях

4.60. Во время нормальной эксплуатации станции систему вентиляции следует эксплуатировать таким образом, чтобы поддерживать давление и температуру внутри защитной оболочки в рамках эксплуатационных пределов и условий, указанных для эксплуатации атомной электростанции.

Контроль давления и температуры в аварийных условиях

4.61. Следует устанавливать проектные характеристики систем управления выбросами массы и энергии таким образом, чтобы в случае аварии давление и температуру внутри защитной оболочки можно было контролировать в заданных пределах и можно было достичь стабильного состояния со снижением давления в защитной оболочке в течение разумного периода времени (как правило, в течение нескольких суток) после наступления аварии.

4.62. Следует обеспечивать, чтобы проекты этих конструкций, систем и элементов соответствовали техническим условиям, относящимся к категории состояния станции, для эксплуатации в котором они спроектированы. Применимые рекомендации по их проектированию представлены в разделе 3 настоящего руководства по безопасности.

4.63. Стратегии контроля давления и температуры в аварийных условиях основываются на использовании внутренне присущих средств безопасности, активных или пассивных систем безопасности или средств безопасности, или же на сочетании этих проектных вариантов. Типичные проектные варианты представлены в пунктах 4.64–4.89.

Внутренне присущие средства управления выбросами массы и энергии (защитная оболочка с большим сухим пространством)

4.64. Свободный объем пространства внутри защитной оболочки является основным физическим параметром, определяющим максимальное давление после постулируемых событий с разрывом трубопроводов. Таким образом, свободный объем может использоваться в качестве внутренне присущего средства безопасности, рассчитанного на поглощение большого выброса массы и энергии внутри защитной оболочки. Если объем защитной оболочки разделен на отсеки, следует применять складывающиеся панели или жалюзи. Эти складывающиеся панели или жалюзи следует проектировать так, чтобы они быстро раскрывались в случае выброса энергии при заранее определенном давлении, с тем чтобы обеспечить быстрое выравнивание давления в различных отсеках и использовать весь свободный объем защитной оболочки.

4.65. Защитная оболочка и ее внутренние конструкции, а также вода, хранящаяся внутри защитной оболочки, действуют как пассивный поглотитель тепла. Важными параметрами при определении давления и температуры являются постулируемые условия аварии с разрывом трубопровода, интенсивность теплообмена и теплоемкость конструкций и элементов конструкций. Основным механизмом теплообмена является конденсация пара на открытых поверхностях, а теплопроводность конструкции играет важную роль при определении интенсивности теплообмена. Все условия, которые могут повлиять на отвод тепла к конструкциям, такие как влияние покрытий или зазоров, следует консервативно учитывать в проекте, и при этом следует предусматривать соответствующие запасы.

Спринклерные системы

4.66. С точки зрения управления выбросами массы и энергии спринклерные системы следует проектировать с целью:

- a) ограничения пикового давления и продолжительности высокого давления внутри защитной оболочки в аварийных условиях в случае защитной оболочки с большим сухим пространством;
- b) ограничения продолжительности высокого давления внутри «сухого бокса» и «мокрого бокса» (см. пункт 4.71) в случае защитной оболочки с бассейном-барботером;
- c) контроля температуры внутри «сухого бокса» в случае защитной оболочки с бассейном-барботером.

4.67. Спринклерную систему следует проектировать таким образом, чтобы основная часть свободного объема защитной оболочки, в которую может поступать пар в случае аварии, могла орошаться водой.

4.68. Распределительные коллекторы и сопла следует проектировать таким образом, чтобы они обеспечивали равномерное распределение капель воды, которые должны быть достаточно малы, с тем чтобы быстро достигать теплового равновесия с атмосферой во время падения.

4.69. Начальным источником воды для спринклерной системы защитной оболочки, как правило, является большой бак-накопитель или бассейн-барботер. Позднее спринклерная система может эксплуатироваться в режиме рециркуляции и использовать воду из соответствующих точек сбора в приемке защитной оболочки или бассейне-барботере.

4.70. В случае спринклерной системы, спроектированной для эксплуатации в режиме рециркуляции, спринклерные сопла следует проектировать таким образом, чтобы предотвращалось их засорение частицами обломков, которые могут поступать в них через водозаборные очистительные решетки и фильтры.

Системы бассейна-барботера

4.71. Защитные оболочки, в которых предусмотрена система бассейна-барботера, разделены на два отдельных отсека: сухой бокс и мокрый бокс. Обычно эти два отсека изолированы друг от друга. Когда давление в сухом боксе значительно превышает давление в мокром боксе, пар и газы перетекают

из сухого бокса в мокрый бокс и происходит конденсация пара в бассейне с водой. В некоторых проектах, если давление в мокром боксе выше, чем давление в сухом боксе, может также происходить взаимодействие между сухим боксом и мокрым боксом. В некоторых проектах защитной оболочки бассейны-барботеры также используются для сбора пара, выбрасываемого через предохранительные или разгрузочные клапаны, или для снабжения водой для рециркуляции в системе аварийного охлаждения активной зоны, системе отвода остаточного тепла и спринклерной системе защитной оболочки. При сбросе пара и газов в воду бассейна-барботера возникают сложные гидравлические переходные процессы и переходные процессы, связанные с давлением.

4.72. Что касается управления выбросами массы и энергии, то бассейн-барботер следует проектировать таким образом, чтобы в случае проектной аварии не было превышено проектное давление как в сухом боксе, так и в мокром боксе. На практике следует принимать во внимание нижеизложенное:

- a) площадь вентиляционного потока между сухим боксом и мокрым боксом следует устанавливать такой, чтобы ограничивать максимальное давление во время продувки;
- b) следует обеспечивать, чтобы количество воды в бассейне-барботере было достаточным для конденсации всего пара, выделяющегося во время проектных аварий (например, в случае аварии с потерей теплоносителя) и абсорбции остаточного и латентного тепла реактора в течение периода времени, достаточного для того, чтобы штатные, аварийные или вспомогательные системы отвода остаточного тепла могли начать справляться с восстановлением теплового баланса.

4.73. Следует обеспечивать, чтобы конструкция сухого бокса и мокрого бокса, а также средств их сопряжения была такой, чтобы можно было надежно определять посредством анализа и испытаний гидравлические реакции и динамические нагрузки.

4.74. Следует определять и учитывать при проектировании гидравлическую реакцию бассейна-барботера и нагрузки, воздействующие на него в различных состояниях станции.

4.75. Следует предусмотреть такую конструкцию системы бассейна-барботера, чтобы как сам бассейн, так и система защитной оболочки в целом и другие связанные с ними системы безопасности сохраняли

работоспособность во всех состояниях станции, включая все постулируемые аварийные условия.

4.76. Систему бассейна-барботера следует проектировать таким образом, чтобы в случае постулируемой аварии пар и газы из сухого бокса поступали в мокрый бокс через патрубки, заглубленные в воду бассейна мокрого бокса.

4.77. Следует сводить к минимуму любую перетечку между сухим боксом и мокрым боксом в обход заглубленных патрубков, и ее следует учитывать в проекте.

4.78. Следует обеспечивать, чтобы использование запаса воды системы бассейна-барботера для других функций не препятствовало выполнению ее основной функции обеспечения средств контроля давления в сухом боксе в случае возникновения аварийных условий.

4.79. Сухой бокс следует проектировать таким образом, чтобы он выдерживал избыточное понижение давления, вызываемое конденсацией пара в сухом боксе в результате намеренного или непреднамеренного срабатывания спринклерной системы, или был защищен от этого (например, автоматическими вакуумными выключателями).

Система отвода тепла из защитной оболочки

4.80. Системы отвода тепла от защитной оболочки следует проектировать так, чтобы они отводили тепло из защитной оболочки и передавали тепло в тракт охлаждения или непосредственно в конечный поглотитель тепла (например, атмосферу, море, реку).

4.81. Трубопроводы, пересекающие стенку защитной оболочки, следует считать продолжением защитной оболочки, и к ним следует предъявлять требования в отношении конструкционной целостности и герметичности, сопоставимые с требованиями, предъявляемыми к самой конструкции самой защитной оболочки.

Системы, работающие в режиме рециркуляции в аварийных условиях

4.82. Следует обеспечивать минимальный и надлежащий подпор на входе рециркуляционных насосов в любых аварийных условиях, в которых необходима работа этих насосов. Этот минимальный подпор следует

рассчитывать, принимая во внимание потенциальное накопление обломков на поверхности фильтров грубой очистки.

4.83. Всасывающие устройства следует проектировать таким образом, чтобы сводить к минимуму кавитацию и предотвращать попадание посторонних предметов (например, материалов теплоизоляции), которые могут заблокировать или повредить систему рециркуляции.

4.84. Для того, чтобы избежать засорения сеток приемка или фильтров грубой очистки, следует уделять особое внимание проектированию трубопроводов, изоляции элементов и сеток отстойника водозабора или самих фильтров грубой очистки. Кроме того, следует учитывать химические эффекты, обусловленные водно-химическим режимом и температурой приемка или бассейна-барботера, а также коррозию или эрозию металлических элементов и их взаимодействие с обломками. Следует также тщательно подбирать материалы, используемые внутри защитной оболочки (например, материалы тепловой изоляции, красочные покрытия). В проекте следует избегать определенных сочетаний таких материалов, которые могут вызывать повышенное засорение сеток приемка или фильтров грубой очистки: см. пункты 4.195–4.202.

4.85. Что касается охлаждения активной зоны, то следует принимать во внимание последствия байпаса обломками сетки приемка или фильтров грубой очистки, что может потенциально приводить к закупорке каналов теплоносителя в тепловыделяющих сборках.

4.86. Участки пересечения трубопроводами стенок защитной оболочки следует оснащать устройствами изоляции защитной оболочки и устройствами, необходимыми для изоляции утечек во внешних петлях рециркуляции, с тем чтобы поддерживать достаточный запас воды для охлаждения. Неизолируемые утечки (например, между проходкой в защитной оболочке и отсечным клапаном) следует предотвращать посредством проектных мер (например, путем установки защитного кожуха трубопровода).

Системы отвода тепла из защитной оболочки в пассивном режиме

4.87. В случае защитной оболочки из стали тепло, выделяющееся в защитной оболочке в аварийных условиях, может отводиться в пассивном режиме через саму стальную оболочку. Необходима также вторичная внешняя конструкция, предназначенная для отвода тепла посредством естественной циркуляции в атмосферу (используя естественную тягу).

4.88. Тепло может также отводиться из защитной оболочки посредством установки на внутренних стенах защитной оболочки нескольких теплообменников, которые будут отводить тепло за пределы защитной оболочки, используя естественную циркуляцию и направляя его в конденсаторы пассивного охлаждения.

4.89. В тех случаях, где принято пассивное охлаждение защитной оболочки, следует учитывать перечисленные ниже аспекты:

- a) при проектировании следует обеспечивать, чтобы площадь охлаждаемой поверхности была достаточной для отвода тепла, выделяемого в защитной оболочке, и охлаждения атмосферы и конструкций внутри оболочки. Коэффициент теплопередачи следует определять консервативно;
- b) во всех соответствующих состояниях станции и для всех условий окружающей среды (например, температуры и влажности окружающего воздуха), определенных при оценке площадки, для которой необходим такой пассивный теплоотвод, следует обеспечивать необходимую естественную циркуляцию внутри защитной оболочки, а также во внешний поглотитель тепла;
- c) для всех состояний станции следует рассматривать возможность «замораживания» внешних условий;
- d) следует провести тщательный анализ с целью выявления и устранения возможных вредных воздействий и видов отказов, так чтобы достичь высокой степени уверенности в том, что функции безопасности будут выполняться.

КОНТРОЛЬ И ОГРАНИЧЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫБРОСОВ

4.90. Защитную оболочку и связанные с ней системы требуется проектировать таким образом, чтобы выполнялись задачи по предотвращению и ограничению радиоактивных выбросов, определенные для различных состояний станции в соответствии с Требованием 55 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

4.91. Соблюдение соответствующих пределов радиоактивных выбросов следует демонстрировать только путем учета положений, разработанных для соответствующих состояний станции. Демонстрацию следует проводить с использованием моделей и правил анализа, применимых к категории состояния станции.

4.92. В проектных решениях, необходимых для сведения к минимуму облучения и радиоактивных выбросов, следует учитывать различные параметры источника выброса, которые характерны для каждого состояния станции (с точки зрения величины радиоактивного выброса, изотопного состава радионуклидов и их физико-химических форм).

4.93. С целью выявления любых потенциальных недостатков, связанных с герметичностью защитной оболочки, и определения путей устранения любых таких недостатков следует проводить оценку потенциальных радиоактивных выбросов из защитной оболочки в случае проектных аварий и запроектных условий.

Параметры источника выброса в защитной оболочке

4.94. При проектировании общих характеристик защитной оболочки и, в частности, мер по обращению с радионуклидами следует оценивать количество и изотопный состав радионуклидов в постулируемом выбросе из защитной оболочки (т.е. параметры источника выброса) для различных подлежащих учету аварийных условий.

4.95. В случае проектных аварий параметры источника выброса следует оценивать посредством консервативного анализа ожидаемого поведения активной зоны и систем безопасности. Начальные условия для соответствующих параметров (например, для суммарного количества радионуклидов в системах и для значений скорости утечки) следует основывать на менее благоприятных значениях в рамках эксплуатационных пределов и условий, указанных для эксплуатации атомной электростанции.

4.96. Следует провести, с учетом последних знаний, оценку ожидаемой эволюции физико-химических форм радионуклидов в защитной оболочке (например, известно, что некоторые краски способствуют образованию органического йода).

4.97. Будучи уловленным в бассейнах с водой внутри защитной оболочки, йод может повторно улетучиться в ее атмосферу в средне- и долгосрочном плане, если не поддерживать соответствующую величину водородного показателя рН. Поэтому следует оценивать все условия, которые могут изменить величину рН воды в бассейнах во время аварии и, если это необходимо, следует предусматривать средства для поддержания щелочной реакции воды в бассейнах.

Герметичность защитной оболочки

4.98. Защитную оболочку и связанные с ней системы следует проектировать таким образом, чтобы сводить к минимуму утечки и избегать, по мере возможности, образования незакрытых фильтрами путей утечек в окружающую среду.

4.99. Эффективным способом ограничения радиоактивных выбросов в окружающую среду является поддержание в течение эксплуатационного срока службы станции скорости утечек на уровне ниже консервативно установленных пределов⁸. Следует обеспечивать, чтобы скорости утечки были достаточно низкими и обеспечивали достижение целей, установленных в Требовании 55 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

4.100. На стадии проектирования следует устанавливать целевую скорость утечек на уровне, значительно более низком, чем скорость утечки, заданная пределом безопасности (т.е. значительно ниже скорости утечки, принятой при оценке возможных радиоактивных выбросов в аварийных условиях). Этот запас следует установить с целью снижения вероятности того, что непредусмотренные модификации, внесенные на стадии проектирования или на стадии сооружения, приведут к такой фактической скорости утечки, которая приблизится к значению скорости утечки, заданному пределом безопасности.

4.101. Как указано в пункте 4.4(f), для ограничения числа каналов утечки следует оптимизировать количество проходок в стенке защитной оболочки. С целью сбора и фильтрации любых утечек до того, как произойдет радиоактивный выброс, в изолированном здании следует устанавливать внешние удлинители проходок, достигающие по крайней мере до первого отсечного клапана.

4.102. Скорости утечки из изолирующих устройств, воздушных шлюзов и проходок следует задавать с учетом их важности для безопасности и герметичности защитной оболочки в целом.

⁸ Примеры таких пределов, которые применяются в государствах, представляют собой суммарную утечку 0,25–0,5% удерживаемой массы свободного газа и пара в сутки при расчетном давлении для стальных защитных оболочек или бетонных защитных оболочек со стальной облицовкой и суммарную утечку 1,0–1,5% в сутки для предварительно напряженных защитных оболочек без стальной облицовки.

4.103. Для обеспечения изоляции защитной оболочки в случае аварии следует, как описано в пунктах 4.154–4.166, включать в проект надлежащие изолирующие устройства.

Здание вторичной локализирующей оболочки

4.104. В некоторые проекты атомных электростанций включено здание вторичной локализирующей оболочки, представляющее собой конструкцию, в которой защитная оболочка первого контура полностью или частично заключена во вторичную оболочку. В таких проектах назначение вторичной оболочки заключается не в том, чтобы выполнять функции первичной защитной оболочки в случае ее отказа, а в том, чтобы обеспечивать потенциальный сбор утечек из первичной защитной оболочки и отфильтрованный выброс через вентиляционную трубу. Когда реализуется такой конструктивный вариант, конструкция вторичной локализирующей оболочки также может быть спроектирована как экранирующая конструкция защитной оболочки.

4.105. В тех случаях, когда предусмотрена вторичная локализирующая оболочка, следует в максимально возможной степени предотвращать прямые утечки (т.е. пути утечек из защитной оболочки непосредственно наружу).

4.106. При использовании здания частичной вторичной локализирующей оболочки (например, здания, которое не полностью закрывает первичную защитную оболочку) следует предусматривать, чтобы ограждающие конструкции охватывали те участки первичной защитной оболочки, которые наиболее подвержены опасности утечек (например, зоны расположения проходов).

4.107. Следует устанавливать критерии для контроля за прямыми утечками и для герметичности конструкций вторичной локализирующей оболочки. Следует периодически проверять соблюдение этих критериев путем проведения испытаний.

4.108. Системы, связанные со зданием вторичной локализирующей оболочки, следует проектировать таким образом, чтобы обеспечивать сбор, фильтрацию и сброс газов, содержащих радиоактивные вещества, содержащиеся в утечках из первичной защитной оболочки в аварийных условиях, и закачку протекших жидкостей обратно в первичную защитную оболочку.

4.109. Для достижения максимальной эффективности здания вторичной локализирующей оболочки следует предусмотреть и спроектировать вентиляционно-фильтрующую систему с целью поддержания отрицательного разностного давления при проектных авариях. В случае запроектных условий, если внутри объема локализирующей оболочки не может быть достигнуто и поддерживаться отрицательное разностное давление, то полученную неотфильтрованную утечку в окружающую среду следует учитывать при расчетах радиологических последствий.

4.110. Для того чтобы обеспечивать возможность мониторинга герметичности здания вторичной локализирующей оболочки, при нормальной эксплуатации в объеме локализирующей оболочки следует поддерживать отрицательное разностное давление.

Байпасирование защитной оболочки

4.111. Байпасирование защитной оболочки происходит в том случае, когда теплоноситель первого контура и любые сопутствующие продукты деления выходят во внешнюю атмосферу без переработки.

4.112. Следует предпринимать соответствующие проектные решения, с тем чтобы продемонстрировать, что условия, включающие байпасирование защитной оболочки и ведущие к радиоактивному выбросу на ранней стадии или крупному радиоактивному выбросу, были практически исключены.

4.113. Любой трубопровод вне защитной оболочки, по которому циркулируют жидкости или газы с высоким радиоактивным загрязнением, следует проектировать таким образом, чтобы он сохранял герметичность в аварийных условиях. Следует тщательно учитывать и сочетать нагрузки и условия технологического процесса.

4.114. Следует указывать условия для проема в защитной оболочке (например, люка для оборудования, канала для перемещения топлива) и следует обеспечивать, чтобы они были надлежащими и предотвращали возникновение аварий с выбросом активности в атмосферу защитной оболочки. В качестве альтернативы следует предусматривать возможность быстрого закрытия защитной оболочки.

4.115. Возможные пути развития аварий с потерей теплоносителя в сопряженных системах следует по мере возможности предотвращать либо посредством перемещения системы в другое место в защитной оболочке,

либо путем повышения проектного давления в низконапорной системе до уровня, превышающего уровень давления в системе теплоносителя реактора. В отношении остающихся путей развития аварий с потерей теплоносителя в сопряженных системах следует реализовать надежные мероприятия, обеспечивающие предотвращение или остановку утечек за пределы защитной оболочки.

4.116. В реакторах с водой под давлением разрыв трубок парогенератора считается потенциальным событием с байпасированием защитной оболочки, которое может привести к радиоактивному выбросу. Для обеспечения низкой частоты таких событий в будущем следует внедрять превентивные проектные решения. Следует обеспечивать, чтобы проект станции способствовал быстрой изоляции поврежденного парогенератора с целью сведения к минимуму радиоактивного выброса, который не должен превышать предел выброса, определенный для соответствующего состояния станции.

4.117. Во многих проектах защитных оболочек предусматриваются системы рециркуляции воды из точек сбора, расположенных внутри защитной оболочки, либо напрямую, либо через теплообменники, для повторного впрыска в корпус реактора или для продолжительной работы спринклерной системы или системы отвода тепла в аварийных условиях. Части этих систем рециркуляции могут быть расположены вне защитной оболочки, что приводит к потенциальной возможности радиоактивного выброса из насосов, клапанов или теплообменников, расположенных за пределами защитной оболочки. В тех случаях, когда используется конструкция этого типа, следует предусматривать меры, обеспечивающие: i) сведение к минимуму радиоактивного выброса в окружающую среду, являющегося следствием такой утечки, ii) проведение периодических испытаний различных элементов на герметичность и iii) выявление и изоляцию аварийных утечек с помощью аттестованных средств.

Снижение содержания радиоактивного материала в атмосфере защитной оболочки

Общие сведения

4.118. В качестве применения концепции глубокоэшелонированной защиты и в дополнение к мерам, предпринятым с целью обеспечения герметичности защитной оболочки, следует принимать меры по снижению количества радиоактивного материала в атмосфере защитной оболочки.

4.119. Как правило, одной системы недостаточно для снижения концентрации радиоактивных аэрозолей и поэтому следует применять несколько систем. Методы, используемые в водоохлаждаемых реакторах (существующих и новых проектов) для снижения содержания радиоактивного материала в воздухе, таковы:

- a) осаждение на поверхности;
- b) спринклерные системы защитной оболочки;
- c) бассейны-барботеры;
- d) системы вентиляция и удаления газов.

4.120. Следует обеспечивать, чтобы активные системы снижения концентраций радиоактивного материала в воздухе позволяли проводить их испытания в то время, когда они находятся в режиме ожидания при нормальной эксплуатации станции.

Осаждение на поверхностях

4.121. Защитная оболочка и ее внутренние элементы являются первичными механизмами удаления радиоактивных аэрозолей, поскольку они представляют собой большую поверхность для осаждения. Коэффициенты осаждения и десорбции для конструкции защитной оболочки следует задавать консервативным образом на основе наилучших имеющихся знаний в отношении осаждения радионуклидов на поверхностях. Следует предусматривать, чтобы поверхности защитной оболочки и ее внутренние конструкции в максимально возможной степени допускали проведение дезактивации.

Спринклерная система защитной оболочки

4.122. В контексте контроля радиоактивных выбросов спринклерная система защитной оболочки предназначена для уменьшения количества радиоактивных аэрозолей путем удаления их из атмосферы защитной оболочки и удержания их в воде приемка защитной оболочки или бассейна-барботера. Это способствует ограничению радиологических последствий утечек из защитной оболочки в атмосферу.

4.123. Важными параметрами, которые следует учитывать при проектировании спринклерной системы защитной оболочки, являются зона охвата орошения, размер распыляемых капель, время осаждения капель

и химический состав спринклерной воды. Кроме того, следует учитывать приведенные ниже рекомендации:

- а) как правило, в воду спринклерной системы следует добавлять химические вещества для улучшения удаления радионуклидов из атмосферы. Особую важность представляет собой радиоактивный йод ввиду потенциальных последствий его воздействия с точки зрения получения индивидуальных доз. Систему ввода химических присадок следует проектировать таким образом, чтобы она максимально растворяла радиоактивный йод и поддерживала водно-химический режим приямка или водно-химический режим бака-барботера таким, чтобы в течение длительного времени после аварии не происходило выхода радиоактивного йода из раствора;
- б) следует обеспечивать, чтобы любые химические присадки не вызывали коррозии материалов защитной оболочки как вскоре после аварии, так и в долгосрочном плане. Коррозия не только может снизить прочность жизненно важных элементов конструкции и ухудшить работу систем безопасности, но также и вызвать образование горючих газов или других нежелательных веществ.

Бассейны-барботеры

4.124. Бассейны или емкости с водой, в которых происходит барботирование атмосферы защитной оболочки с целью конденсации пара, следует рассматривать в качестве важного средства удаления радиоактивного материала. Однако оценку эффективности такого процесса следует производить с осторожностью, поскольку она зависит от термодинамических условий воды и пара. Например, на эффективность очистки бассейна-барботера оказывают значительное влияние степень переохлаждения воды и эффективность последующей конденсации пара.

Вентиляционные системы и системы удаления газов

4.125. В тех случаях, когда для очистки сбросного воздуха с целью уменьшения профессионального облучения и облучения населения в аварийных условиях используются вентиляционные системы, фильтры следует проектировать и обслуживать таким образом, чтобы исключать любую возможность их забивания загрязняющими веществами до их использования в связи с аварией.

4.126. Вентиляционную систему следует при необходимости оснащать (например, путем установки перед фильтрами влагоотделителей и подогревателей) оборудованием, препятствующим понижению температуры на входе воздушного фильтра ниже точки росы.

4.127. Эффективность поглощающего материала йодных фильтров следует, по мере необходимости, подтверждать путем лабораторных испытаний в моделированных условиях аварии. Следует обеспечивать возможность периодического испытания системы фильтрации на месте.

4.128. Вентиляционные системы часто используются для сбора, фильтрации и сброса из здания вторичной локализирующей оболочки воздуха, который в аварийных условиях может быть загрязнен радиоактивными аэрозолями в результате утечки из защитной оболочки. В таких случаях применяются рекомендации пунктов 4.154–4.166.

4.129. В случае оборудования защитной оболочки системами удаления газов эту систему следует проектировать таким образом, чтобы обеспечивать сведение к минимуму радиоактивного выброса в окружающую среду. Проект системы может включать в себя фильтрационную систему, такую как песчаные фильтры, скрубберные многодиффузорные системы воздухоочистки, высокоэффективные воздушные фильтры тонкой очистки или угольные фильтры, или же их сочетание. Если в бассейне производится мокрая очистка воздуха, то применение высокоэффективных воздушных сухих фильтров или песчаных и угольных фильтров может не понадобиться.

4.130. Поскольку благородные газы не могут быть отфильтрованы, следует принимать во внимание использование систем задержки их выброса до тех пор, пока не произойдет их дальнейший радиоактивный распад.

КОНТРОЛЬ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ

4.131. В пунктах 4.132–4.150 представлены рекомендации по выполнению Требования 58 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

Образование горючих газов

4.132. Для различных состояний станции следует определять источники потенциального выброса горючих газов и связанных с ними угроз для

защитной оболочки и систем, необходимых для смягчения соответствующих аварийных условий, обусловленных наличием таких газов.

4.133. Источники горючих газов следует определять с учетом указанных ниже явлений:

- a) радиолиза воды в активной зоне;
- b) радиолиза воды в приемке или баке-барботере;
- c) реакций металл-вода элементов активной зоны и внутрикорпусных устройств реактора;
- d) химических реакций с материалами защитной оболочки;
- e) дегазации водорода, растворенного в теплоносителе первого контура;
- f) выбросов из водородных газгольдеров, используемых для контроля водно-химического режима первого контура;
- g) взаимодействий между расплавленной активной зоной и бетоном, приводящих к образованию водорода и монооксида углерода.

4.134. Для проектных аварий и запроектных условий следует производить расчеты образования горючих газов и их объема как функции времени. Неопределенности в различных механизмах образования газов следует учитывать путем введения надлежащих запасов для каждого механизма. В случае запроектных условий с расплавлением активной зоны неопределенности, связанные с образованием водорода, связаны с такими явлениями, как: затопление частично поврежденной активной зоны при высоких температурах, поздняя фаза деградации активной зоны, сползание расплавленного материала активной зоны в остаточную воду в нижней части корпуса реактора и долговременное взаимодействие расплавленного материала активной зоны и бетона.

4.135. Следует оценивать возможные воздействия горения газов на защитную оболочку и на системы, необходимые для смягчения соответствующих аварийных условий. Такие воздействия следует, насколько это возможно, предотвращать или ограничивать, или же, если невозможно смягчить эти воздействия, следует практически исключать возникновение условий для возгорания.

Угрозы, создаваемые горючими газами в запроектных условиях с расплавлением активной зоны

4.136. Угрозы для защитной оболочки зависят от реакторной технологии и проекта, но, как правило, их причинами являются высокое давление и

тепловые нагрузки, возникающие при образовании больших количеств неконденсируемых газов, и различные режимы горения горючих газов. Следует учитывать оба этих случая и оценивать их воздействия на защитную оболочку и на системы, необходимые для смягчения таких условий.

4.137. Даже если продемонстрировано, что условия воспламеняемости газовой смеси не достигаются (например, в случаях низкой концентрации водорода, высокой концентрации пара или низкой концентрации кислорода), следует тем не менее учитывать возможность возникновения избыточного давления ввиду присутствия неконденсируемых газов. Например, в случае инертной защитной оболочки вероятность возгорания водорода низка ввиду присутствия инертного газа и отсутствия кислорода при нормальной эксплуатации станции; для защитной оболочки такого типа основной угрозой является быстрое превышение допустимого давления, вызванное интенсивным образованием неконденсирующихся газов в малом объеме.

4.138. Следует учитывать общие и локальные воздействия воспламенения (статические нагрузки, создаваемые давлением, динамические нагрузки, создаваемые давлением, и тепловые нагрузки) на защитную оболочку и на средства безопасности, необходимые для смягчения последствий запроектных условий с расплавлением активной зоны.

4.139. Общий подход к проектированию характеристик и эффективности различных средств, необходимых для обращения с горючими газами, следует основывать на пределах концентрации газов, принимая во внимание изложенные ниже рекомендации:

- a) следует постулировать воспламенение водорода в случае превышения условий воспламеняемости (например, при объемной концентрации водорода в сухом воздухе, превышающей 4%);
- b) до тех пор, пока не достигнуты условия для явлений ускорения горения и высоких динамических нагрузок, создаваемых давлением, для определения общих и локальных граничных нагрузок, создаваемых давлением, следует использовать кривую давления для полного адиабатического изохорического воспламенения топлива, рассчитанную для воспламенения всего водорода в режиме медленного движения факела;
- c) в зонах, где возможно накопление водорода, следует предотвращать, насколько это возможно, возникновение условий для явлений ускорения движения факела, которые могут приводить к переходу от дефлаграции к детонации или к детонации. Для зон, где такие условия,

вероятно, могут быть достигнуты, следует проводить подробный анализ и расчеты с целью демонстрации того, что детонация, переход от дефлаграции к детонации или режим быстрого воспламенения не подвергнут опасности конструкционную целостность защитной оболочки или связанных с ней систем;

- d) для достижения безопасных условий внутри защитной оболочки, характеристики и эффективность средств удаления горючих газов следует проектировать таким образом, чтобы уменьшать среднюю концентрацию таких газов в свободном объеме защитной оболочки до уровня ниже предела воспламеняемости газа в сухом воздухе (например, ниже 4% в случае водорода).

4.140. Для того чтобы оценить возможность возникновения различных режимов воспламенения: воспламенения в режиме медленного движения факела, режима быстрого воспламенения с ускорением движения пламени или режима перехода от дефлаграции к детонации, в расчетах и при анализе следует рассматривать образование газа, временной график образования газа и распределение концентрации газа.

4.141. Следует понимать и учитывать угрозу для эксплуатации системы отвода тепла из защитной оболочки, создаваемую воспламенением водорода при снижении концентрации пара.

4.142. При оценке угрозы воспламенения следует также принимать во внимание утечки и выбросы горючих газов из защитной оболочки.

Меры по смягчению горения водорода и предотвращению воспламенения водорода, угрожающего целостности защитной оболочки

4.143. В целях сведения к минимуму образования водорода, смягчения горения водорода и практического исключения режимов горения, которые могут угрожать целостности защитной оболочки, следует принимать разнообразные меры, такие как выбор материалов, свободного пространства внутри защитной оболочки, удаление, перемещение, гомогенизация и отвод газов.

4.144. В тех случаях, когда необходимы средства для ограничения и удаления водорода, средства, необходимые для ограничения концентрации водорода в случае запроектных условий с расплавлением активной зоны, следует проектировать таким образом, чтобы они не зависели от средств,

необходимых при проектных авариях. Характеристики и эффективность мер, описанных в пункте 4.143, следует проектировать таким образом, чтобы обеспечивались пределы концентрации, указанные в пункте 4.139. Кроме того, следует обеспечивать, чтобы характеристики и планирование этих мер были такими, чтобы целостность и герметичность защитной оболочки поддерживались в пределах, учитываемых при демонстрации безопасности.

Удаление

4.145. Следует предусматривать надлежащее количество пассивных средств (например, автокаталитических рекомбинационных установок) и активных средств (например, дожигателей). Эти пассивные и активные средства следует надлежащим образом распределять внутри защитной оболочки с учетом их эффективности в отношении уменьшения концентрации горючих газов (например, недалеко от места выброса, вблизи ожидаемых путей конвекционных потоков между внутренними помещениями защитной оболочки, в зоне купола, а также по периферии защитной оболочки и на различных высотах в больших помещениях).

4.146. Количество и расположение рекомбинационных установок и дожигателей следует обосновывать на основе надлежащего подробного анализа распределения горючих газов.

4.147. Меры, связанные с компоновкой, следует осуществлять таким образом, чтобы тепловые нагрузки (создаваемые пламенем при горении или горячими отходящими газами рекомбинационных установок) не могли повредить облицовку защитной оболочки (или стальной кожух защитной оболочки), проходки защитной оболочки или любые элементы и кабели, необходимые для смягчения и мониторинга аварий с расплавлением активной зоны.

Гомогенизация

4.148. Следует либо включать в проект активные средства (например, спринклерные устройства и смешивающие вентиляторы, сертифицированные для эксплуатации в среде смеси горючих газов), либо обеспечивать, чтобы конструкция способствовала естественной циркуляции во всей защитной оболочке с целью улучшения однородности распределения водорода в атмосфере внутри отсеков и между ними благодаря наличию надлежащих проемов и предотвращению, насколько это возможно, тупиковых зон.

Создание инертной атмосферы

4.149. Одним из возможных способов избежать воспламенения является поддержание внутри защитной оболочки во время работы реактора инертной атмосферы (обычно добавлением азота). Этот подход применим в основном к защитным оболочкам небольших размеров.

4.150. Поступление кислорода в инертную атмосферу защитной оболочки следует предотвращать, например, путем поддержания повышенного давления в защитной оболочке, ограничения степени снижения давления или организации дополнительной подачи азота.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ

4.151. К механическим средствам защитной оболочки относятся механические элементы наиболее удаленного барьера и механические части расширений этого барьера (т.е. трубопроводы, клапаны, каналы и проходки). Вместе с конструкцией защитной оболочки эти средства образуют границу защитной оболочки.

4.152. Следует обеспечивать, чтобы критерии герметичности механических средств защитной оболочки и ее расширений соответствовали допущениям, использованным при радиологическом анализе для случая аварийных условий.

Меры по изоляции систем трубопроводов и каналов защитной оболочки

4.153. В пунктах 4.154–4.166 представлены рекомендации по выполнению Требования 56 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

4.154. Каждую линию, проходящую сквозь защитную оболочку и не являющуюся частью замкнутого контура⁹ и которая либо а) напрямую сообщается с теплоносителем реактора в ходе нормальной эксплуатации или в аварийных условиях, либо б) непосредственно сообщается с атмосферой

⁹ «Замкнутый контур» — это система трубопроводов или воздухопроводов, проходящих через границу защитной оболочки и образующих замкнутый контур внутри или снаружи защитной оболочки или внутри и снаружи защитной оболочки в эксплуатационных состояниях и в аварийных условиях.

защитной оболочки в ходе нормальной эксплуатации или в аварийных условиях, следует оборудовать двумя последовательно расположенными отсечными клапанами. Следует предусматривать, чтобы каждый клапан в нормальном положении был закрыт, или следует предусматривать средства для его автоматического закрытия. Если линия непосредственно сообщается с теплоносителем реактора или с атмосферой защитной оболочки, следует предусмотреть один клапан внутри защитной оболочки и один клапан снаружи нее. Следует предусматривать надежное и независимое приведение в действие каждого клапана. Отсечные клапаны следует располагать, по мере возможности, как можно ближе к защитной оболочке.

4.155. В контурах, которые замыкаются либо внутри, либо снаружи защитной оболочки, следует предусматривать, по меньшей мере, по одному отсечному клапану на каждой проходке за пределами защитной оболочки. Следует обеспечивать, чтобы этот клапан представлял собой автоматический клапан, нормально закрытый клапан или дистанционно управляемый клапан¹⁰. Если отказ замкнутого контура предполагается как постулируемое исходное событие или как следствие постулируемого исходного события, то рекомендация применяется к каждой линии замкнутого контура.

4.156. Следует обеспечивать, чтобы контуры, которые замыкаются как внутри, так и снаружи границы защитной оболочки, имели на каждой проходке по меньшей мере по одному отсечному клапану либо автоматическому клапану, либо нормально закрытому или дистанционно управляемому клапану вне пределов границы защитной оболочки и настолько близко, насколько это практически достижимо, к защитной оболочке.

¹⁰ «Автоматический клапан» — это клапан или задвижка, который(ую) можно привести в действие либо по сигналу системы защиты, либо с помощью других средств контроля и управления без воздействия со стороны оператора, или под воздействием самой технологической среды. Например, автоматическими клапанами считаются определенные типы обратных клапанов. «Нормально закрытый клапан» — это клапан, который закрыт с применением мер активного административно-технического контроля (например, заблокирован посредством замкового устройства в закрытом положении или клапан, за которым ведется постоянный контроль его закрытого положения), за исключением периодического открывания для таких специальных целей, как контроль, проведение испытаний или отбор проб. «Дистанционно управляемый клапан» — это клапан или задвижка, который(ая) может быть задействован(а) оператором с пульта управления и, в некоторых случаях, из дополнительных пунктов управления.

4.157. На небольших тупиковых измерительных линиях, проходящих сквозь защитную оболочку, следует предусматривать по меньшей мере один отсечной клапан за пределами защитной оболочки.

4.158. Отсечные клапаны защитной оболочки для измерительных линий, которые закрыты (т.е. не сообщаются с атмосферой) не нужны при условии, что эти линии проектируются таким образом, чтобы выдерживать аварийные условия, при которых необходима локализация. Помещения, в которые выходят эти линии, следует оборудовать фильтровентиляционной системой для поддержания давления на уровне ниже атмосферного. Такие помещения и оборудование в них следует проектировать таким образом, чтобы они выдерживали повышенные уровни температуры и влажности вследствие возможных утечек из этих линий.

4.159. Следует обеспечивать, чтобы необходимость автоматической изоляции защитной оболочки в аварийных условиях не препятствовала выполнению системами, необходимыми для смягчения этих аварий, назначенных им функций.

4.160. Для замкнутых систем, проходящих через защитную оболочку, и для изолированных участков трубопроводов, в которых вследствие повышения температуры внутри атмосферы защитной оболочки в аварийных условиях может возникать избыточное давление, следует предусматривать защиту от избыточного давления.

4.161. Расширения границы защитной оболочки следует проектировать и изготавливать с обеспечением уровней характеристик, которые по меньшей мере эквивалентны уровням характеристик самой защитной оболочки.

4.162. Для особых эксплуатационных условий (например, условий с открытой защитной оболочкой или заблокированной автоматической изоляцией защитной оболочки) следует оценивать риск для безопасности, а также следует осуществлять временные меры, необходимые для своевременного выполнения функции изоляции защитной оболочки.

4.163. Особое внимание следует уделять средствам изоляции защитной оболочки перечисленных ниже систем, которые потенциально могут приводить к возникновению байпаса защитной оболочки:

- а) систем, спроектированных для отвода тепла из активной зоны, от обломков активной зоны или из защитной оболочки, которые могут

транспортировать радиоактивный материал за пределы защитной оболочки в аварийных условиях;

- b) систем, которые могут транспортировать радиоактивные аэрозоли из атмосферы защитной оболочки за ее пределы в аварийных условиях (например, систем, используемых в некоторых проектах для перемешивания атмосферы внутри защитной оболочки во избежание воспламенения водорода);
- c) обеспечивающих систем или вспомогательных систем (внутри защитной оболочки), из которых могут выходить за пределы защитной оболочки в случае утечки жидкости с высокой активностью (в некоторых конструкциях — система водяного охлаждения элементов, система промывки водосборника защитной оболочки или системы отбора проб).

4.164. Следует обеспечивать, чтобы системы, соединенные с первым контуром при нормальной эксплуатации (т.е. системы фильтрации первого контура или, в некоторых проектах, система регулирования воднохимического режима), и системы, связанные с атмосферой защитной оболочки, автоматически изолировались в аварийных условиях, когда они не нужны для обеспечения безопасности.

Отсечные клапаны

4.165. Для достижения цели ограничения любого радиоактивного выброса за пределы защитной оболочки изолирующие устройства следует проектировать таким образом, чтобы обеспечивались требуемая герметичность и время закрытия.

4.166. Следует обеспечивать, чтобы предусмотренные в проекте решения в отношении испытаний на герметичность (например, распылительные головки и измерительные испытательные линии) позволяли проводить проверку каждого отсечного клапана.

Проходки

4.167. В пунктах 4.168 и 4.169 представлены рекомендации по соблюдению требований пункта 6.21 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

4.168. Проходки защитной оболочки следует проектировать таким образом, чтобы они выдерживали по крайней мере те же нагрузки и сочетания нагрузок, что и защитная оболочка.

4.169. Следует обеспечивать наличие доступа к проходкам в защитной оболочке, с тем чтобы утечки из отдельных проходок могли быть обнаружены с помощью испытаний на герметичность.

Проходки для трубопроводов

4.170. При механическом проектировании проходок для трубопроводов, включая отсечные клапаны, следует принимать во внимание нагрузки, создаваемые системой трубопроводов, а также нагрузки, создаваемые защитной оболочкой.

Проходки для электрических кабелей

4.171. Следует обеспечивать герметичность проходок через защитную оболочку для силовых электрических кабелей и приборных кабелей. Следует обеспечивать, чтобы средства обеспечения герметичности этих проходок базировались на следующих конструкциях:

- a) кабельные проходки из закаленного стекла: конструкция кабельной проходки из закаленного стекла состоит из электропроводящих стержней, заделанных в диске из закаленного стекла, прикрепленном фланцем к защитной оболочке. Кабели присоединяются к стержням, которые выходят с обеих сторон стеклянного диска и обеспечивают передачу электроэнергии. Стекло обеспечивает электрическую изоляцию между стержнями и выполняет функцию герметика. Для обеспечения герметичности сборки при проектировании следует предусматривать двойные уплотнения по фланцу. Следует обеспечивать, чтобы эти проходки были сменными и доступными для индивидуальной проверки проектным давлением на герметичность;
- b) находящиеся под давлением и постоянно контролируемые по давлению проходки: следует обеспечивать, чтобы внутреннее давление проходок, находящихся под давлением, как правило, было выше, чем давление, которое может возникать внутри защитной оболочки в аварийных условиях, с тем чтобы было возможно непрерывно проводить испытания на герметичность. В любом случае следует обеспечивать, чтобы это давление было не ниже давления, используемого при проверке скорости утечки из защитной оболочки. При проектировании проходок следует оценивать и учитывать воздействие повышения температуры на проектное давление текучей среды внутри проходок;

- с) проходки с герметизацией впрыском герметика: следует обеспечивать, чтобы проходки этого типа допускали проверку на герметичность при комплексных испытаниях на герметичность.

4.172. Следует отдавать предпочтение таким конструкциям проходок для электрических кабелей, которые позволяют производить индивидуальную проверку каждой проходки.

4.173. При выборе материалов проходок для электрических кабелей следует принимать во внимание тепло, выделяемое электрическими кабелями. Следует использовать термостойкие и невоспламеняющиеся материалы. Следует обеспечивать, чтобы проходки с герметизацией впрыском герметика по меньшей мере не поддерживали горение.

Воздушные шлюзы, двери и люки

4.174. В пунктах 4.175–4.180 представлены рекомендации по выполнению Требования 57 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

4.175. Следует обеспечивать, чтобы проходки для доступа персонала или перемещения оборудования внутрь защитной оболочки (воздушные шлюзы защитной оболочки) были оборудованы воздушными шлюзами с дверями с системой блокировки для обеспечения того, что при работе реактора и в аварийных условиях по крайней мере одна из дверей закрыта. Кроме того, эти проходки следует проектировать таким образом, чтобы предотвращать любое чрезмерное облучение работников в эксплуатационных состояниях станции.

4.176. Обе двери воздушного шлюза следует проектировать таким образом, чтобы они выдерживали те же условия на станции, что и защитная оболочка. При проектировании внешней двери не нужно учитывать связанные с локальными переходными процессами внутренние воздействия, такие как воздействие открытого пламени при горении водорода.

4.177. Следует обеспечивать, чтобы камера воздушного шлюза между двумя дверями имела размеры, допускающие перемещение через нее необходимого ремонтного оборудования и проход достаточного числа сотрудников, с тем чтобы избежать необходимости слишком часто открывать воздушный шлюз при останове и техническом обслуживании станции.

4.178. Следует предусматривать герметичную конструкцию внутренней двери воздушного шлюза. Каждую дверь следует оснащать двойными

уплотнениями, причем следует предусматривать возможность проверки герметичности дверей и пространства между уплотнениями. При использовании надувных уплотнений следует устанавливать аварийную сигнализацию по падению давления.

4.179. Люки для оборудования — это большие проемы в защитной оболочке, которые нормально закрыты. Их конструкция имеет, как правило, болтовой фланец, герметичность которого обеспечивают мягкие эластомерные уплотнения. При разработке конструкции люков для оборудования следует принимать во внимание нагрузки и деформации вследствие воздействия давления и температуры.

4.180. Следует обеспечивать, чтобы проемы в защитной оболочке (т.е. проходки, воздушные шлюзы и люки) были нормально закрытыми. Исключения допускаются, если они необходимы по эксплуатационным причинам и при условии, что проемы могут быть быстро и надежно закрыты в соответствии с установленными инженерно-техническими критериями, применимыми к аварийным условиям. Следует обеспечивать, чтобы были оговорены условия, позволяющие открывать люки для оборудования, и чтобы они были выполнены перед открытием люка.

МАТЕРИАЛЫ

Бетон

4.181. Следует обеспечивать, чтобы бетон обладал качественными и эксплуатационными характеристиками (прочность, пористость и непроницаемость), соответствующими его использованию. Следует обеспечивать, чтобы качество бетона, используемого для конструкций защитной оболочки, было соответственно высоким, как того требует функция безопасности защитной оболочки. Проектные решения будут зависеть от концепции защитной оболочки. Например, защитная оболочка из предварительно напряженного железобетона обеспечивает как прочность, так и герметичность, в то время как конструкция защитной оболочки из железобетона обычно обеспечивает только прочность, в то время как герметичность обеспечивает ее стальная облицовка.

4.182. Следует принимать во внимание проектную прочность определенной марки бетона, рассчитанную на то, чтобы выдерживать нагрузки (нагрузки сжатия и тепловые нагрузки) и воздействие условий окружающей среды

(тепла, влажности и излучения), возникающие в аварийных условиях. Следует обеспечивать, чтобы это приводило к заданию строгих технических условий для бетона с точки зрения его прочности и герметичности.

4.183. Следует также обеспечивать, чтобы технические условия для бетона также гарантировали, что предприняты меры с целью избежать уязвимостей материала, которые могут приводить к воздействиям, вызывающим старение (например, агрессивное воздействие хлоридов, реакция между заполнителем и щёлочью, вторичный этtringит).

4.184. Для всех проходок для электрических кабелей, больших проходок, таких как люки для оборудования, и в месте соединения защитной оболочки с опорной плитой следует применять бетон с соответствующими показателями жесткости, теплового расширения и предела прочности при сжатии.

4.185. Следует обеспечивать, чтобы в защитных оболочках из предварительно напряженного железобетона, не герметизированных металлической облицовкой, бетон оставался в предварительно напряженном состоянии даже в аварийных условиях. Следует использовать такие материалы бетона, которые будут ограничивать ползучесть или усадку в течение многих лет и обеспечивать низкую пористость. При проектировании следует оценивать и учитывать возможность потери предварительного напряжения предварительно напряженной арматурой защитной оболочки в течение срока службы станции.

4.186. Проектирование сопряжения бетона с материалом проходных втулок следует осуществлять таким образом, чтобы сводить к минимуму утечки, избегая создания прямых путей прохода через контактные поверхности.

4.187. Следует обеспечивать, чтобы процессы проектирования и строительства предотвращали развитие трещин или зон с высокой скоростью утечки.

4.188. При выборе и проектировании типов бетона следует оценивать эффекты старения и следует разработать программу мониторинга эффектов старения на протяжении всего срока службы: см. публикацию SSG-48 [18] и Требование 31 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

Металлические материалы

4.189. Следует обеспечивать, чтобы металлические материалы, используемые для защитной оболочки и связанных с ней систем, включая сварные швы, были высококачественными; следует использовать аттестованные и сертифицированные материалы, которые соответствуют национальным нормам безопасности.

4.190. При выборе металлических материалов следует принимать во внимание изложенные ниже соображения:

- a) тепловые и механические нагрузки;
- b) химические взаимодействия, в том числе с химическими веществами, используемыми в спринклерных системах защитной оболочки;
- c) чувствительность к эффектам старения;
- d) сопротивление хрупкому разрушению;
- e) коррозионная стойкость.

4.191. Металлические материалы, которые могут приводить к образованию водорода при контакте с водой или паром, такие как цинк и алюминий, использовать внутри защитной оболочки не следует. Если применение таких материалов в конструкции необходимо, то их использование следует ограничивать и следует проанализировать эффекты образования водорода.

Мягкие герметизирующие материалы

4.192. Мягкие герметизирующие материалы широко используются во многих применениях в защитной оболочке, таких как уплотнение задвижек системы вентиляции или надувные уплотнения воздушных шлюзов. Несмотря на то, что в нормальных условиях эти материалы вносят свой вклад в обеспечение очень высокой герметичности защитной оболочки, их поведение в аварийных условиях следует подтверждать соответствующим образом. Потенциально опасными механизмами повреждения мягких герметизирующих материалов являются охрупчивание и образование трещин в результате воздействия высоких температур и облучения, разложение под воздействием влажности и пара и распухание или усадка вследствие колебаний температуры. Особое внимание следует уделять защите этих материалов от прямого воздействия горящего водорода и накопления радиоактивных аэрозолей. В экстремальных условиях такие материалы могут деградировать в такой степени, что изменятся их механические свойства.

4.193. Следует оценивать ожидаемые сроки службы мягких герметизирующих материалов и механизмы старения, отрицательно влияющие на их характеристики, и устанавливать соответствующую периодичность замены. Следует обеспечивать, чтобы конструкция герметизирующих элементов допускала простоту их проверки и замены.

Материалы облицовки, амортизации, теплоизоляции и покрытий

4.194. В пунктах 4.195–4.202 представлены рекомендации по соблюдению требований пункта 6.30 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

4.195. Следует обеспечивать, чтобы в случае ухудшения характеристик материалов облицовки, амортизации, теплоизоляции и покрытий не ставилась под угрозу ни одна из функций безопасности. Эти материалы следует устанавливать и закреплять таким образом, чтобы предотвращать ослабление крепления и, как следствие этого, возможное засорение решеток и клапанов.

4.196. В частности, материалы, используемые для изолирования труб и баков внутри защитной оболочки, следует проектировать и выбирать таким образом, чтобы достигать указанных ниже целей:

- a) сводить к минимуму образование обломков, которые могут скапливаться на полах защитной оболочки и приводить к закупорке сетки прямки, фильтра грубой очистки или повреждению рециркуляционных насосов;
- b) обеспечивать простоту проведения, в случае необходимости, дезактивации;
- c) исключать возникновение пожарной опасности;
- d) сводить к минимуму выброс токсичных газов во время их нагревания при пуске станции.

4.197. Следует оценивать количество обломков, образующихся при разрыве высокоэнергетических трубопроводов и переносимых в прямки, а также следует обеспечивать соответствующий размер поверхности фильтров, с тем чтобы не поставить под угрозу нормальную эксплуатацию насосов, необходимых для сведения к минимуму последствий аварий.

4.198. Следует установить систему очистки фильтров, принимая во внимание большие неопределенности в отношении типов и количества обломков, которые могут заблокировать фильтры.

4.199. Если для улучшения герметичности защитной оболочки применяются облицовки из органических материалов, то их следует выбирать таким образом, чтобы они обеспечивали хорошее сцепление и низкую воздухо(газо)проницаемость, выдерживали тепловые нагрузки и нагрузки от воздействия давления, а также условия окружающей среды в защитной оболочке без потери своей функции безопасности (например, органическому материалу следует обладать хорошей способностью перекрывать трещины и устойчивостью к охрупчиванию после теплового старения). Следует предусматривать меры по управлению старением этих органических облицовочных материалов, включая техническое обслуживание и контроль.

4.200. Выбор лакокрасочных материалов и материалов покрытий следует производить таким образом, чтобы исключить возникновение пожарной опасности и избегать засорения пряжка защитной оболочки.

4.201. При выборе лакокрасочных материалов и материалов покрытий следует учитывать влияние разложения их растворителей в пряжке (например, на летучесть йода).

4.202. Следует производить оценку механизмов старения, отрицательно влияющих на материалы облицовки, амортизации, теплоизоляции и покрытий, и следует устанавливать надлежащие интервалы их замены.

КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

4.203. В пунктах 4.204–4.241 представлены рекомендации по выполнению Требования 59 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

4.204. Следует предусматривать надлежащие контрольно-измерительные приборы для указанных ниже целей:

- a) мониторинг устойчивости защитной оболочки;
- b) обнаружение отклонений от нормальной эксплуатации;
- c) периодические испытания;
- d) мониторинг готовности систем защитной оболочки;
- e) запуск автоматической работы систем;
- f) послеаварийный контроль.

4.205. Установка контрольно-измерительных приборов для различных целей может привести к измерению одних и тех же параметров для

различных уровней защиты. Следует учитывать последствия совместного использования датчиков, с тем чтобы сохранять надлежащую независимость между различными уровнями глубокоэшелонированной защиты. Насколько это возможно, следует выполнять изложенные ниже рекомендации:

- a) следует предусматривать отдельные датчики для автоматического запуска систем и для мониторинга аварий на станции;
- b) следует предусматривать отдельные датчики для автоматического запуска систем аварийной остановки реактора и работы систем безопасности (включая их резервные системы), установленных для улучшенного предотвращения аварий с расплавлением активной зоны;
- c) следует предусматривать различные и специально выделенные датчики для смягчения аварий с расплавлением активной зоны.

4.206. Контрольно-измерительные приборы следует аттестовать на воздействие сейсмических нагрузок и условий окружающей среды, которые могут превалировать до или во время их работы.

4.207. Следует обеспечивать, чтобы последовательности испытаний соответствовали хорошо апробированной международной практике. Более подробные рекомендации изложены в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ № SSG-39 «Проектирование систем контроля и управления для атомных электростанций» [22].

Мониторинг устойчивости защитной оболочки

4.208. В течение всего срока службы защитной оболочки следует осуществлять мониторинг деформаций (радиальных, вертикальных или окружных) или перемещений конструкций защитной оболочки или ее стенок (например, мониторинг осадки или разностной осадки зданий).

4.209. Для стенок из предварительно напряженного железобетона следует предусматривать средства обнаружения потери предварительного напряжения. Следует определять параметры сжатия бетона и его жесткости (такие, как модуль Юнга), и их следует проверять с использованием таких средств, как акустические измерения. В помощь интерпретации результатов испытаний на пробное давление следует также производить замеры температуры в разрывах бетона.

4.210. Измерения с целью мониторинга устойчивости и деформаций защитной оболочки во времени следует регистрировать, с тем чтобы отслеживать тенденции.

4.211. В соответствующих местах (например, на опорной плите или на соответствующих уровнях защитной оболочки) следует устанавливать надлежащие контрольно-измерительные приборы для проведения измерений, связанных с землетрясениями.

Обнаружение отклонений от нормальной эксплуатации

4.212. Внутри защитной оболочки следует установить соответствующие контрольно-измерительные приборы для раннего обнаружения отклонений от нормальной эксплуатации, включая перечисленные ниже:

- a) утечки радиоактивного материала;
- b) аномальные уровни излучения;
- c) высокоэнергетические утечки;
- d) утечки из первого контура;
- e) пожары;
- f) отказы элементов.

4.213. Необходимую чувствительность контрольно-измерительных приборов и диапазон их измерений для обнаружения развивающегося отклонения следует оценивать с использованием надлежащих аналитических методов.

4.214. Для правильного определения различных аномальных условий информация может предоставляться индивидуальными контрольно-измерительными приборами или комплексом этих приборов. Параметры, обычно подвергаемые мониторингу, указаны в пунктах 4.215–4.229.

Температура атмосферы в защитной оболочке

4.215. Мониторинг температуры атмосферы в защитной оболочке необходим для того, чтобы проверять, находится ли она в рамках диапазона, указанного для нормальной эксплуатации, следующим образом:

- a) для измерения температуры атмосферы в защитной оболочке следует установить достаточное количество датчиков температуры;

- б) для оценки температуры внутри защитной оболочки могут быть использованы данные измерений температуры воздухоохладителей защитной оболочки.

4.216. Результаты измерений температуры атмосферы в защитной оболочке следует регистрировать с целью отслеживания тенденций.

Давление в защитной оболочке

4.217. Следует обеспечивать мониторинг давления в защитной оболочке с целью проверки того, находится ли давление в пределах диапазона, указанного для нормальной эксплуатации (небольшие изменения давления могут быть вызваны срабатыванием клапанов с пневматическими приводами, изменениями температуры защитной оболочки или утечками таких технологических сред, как сжатый воздух или азот).

4.218. В случае здания вторичной локализирующей оболочки или защитной оболочки с двойными стенками следует обеспечивать мониторинг давления внутри здания вторичной локализирующей оболочки или кольцевого пространства¹¹ с целью проверки того, находится ли давление в пределах диапазона, указанного для нормальной эксплуатации (следует поддерживать небольшой отрицательный перепад давления).

4.219. Результаты измерений давления в защитной оболочке следует регистрировать с целью отслеживания тенденций.

Газовый состав атмосферы защитной оболочки

4.220. Следует обеспечивать мониторинг газового состава атмосферы защитной оболочки в местах потенциально высоких концентраций горючих газов.

¹¹ «Кольцевое пространство» представляет собой свободный объем между двумя стенками защитной оболочки.

Влажность в различных местах

4.221. Влажность является весьма важным фактором для определения утечек в эксплуатационных состояниях. В качестве основы для измерения влажности могут быть использованы следующие параметры:

- a) температура точки росы атмосферы защитной оболочки;
- b) электрические параметры, такие как импеданс или сопротивление датчиков;
- c) количество конденсата в воздухоохладителях защитной оболочки.

4.222. Результаты измерений следует регистрировать с целью отслеживания тенденций.

Уровни воды в баках-накопителях и приемках

4.223. Баки-накопители и приемки каждой системы безопасности, а также сборники конденсата каждого воздухоохладителя следует оснащать уровнемерами.

Измерения уровней излучения и радиоактивности

4.224. В целях радиационной защиты работников и раннего выявления любых аномалий следует измерять уровни излучения в различных местах внутри защитной оболочки.

4.225. Измерения уровней радиоактивности атмосферы в защитной оболочке и в воде (баки-накопители стоков и приемки) следует проводить с помощью вспомогательных средств для обнаружения утечек.

Видимые аномалии

4.226. Внутри защитной оболочки следует установить систему видеонаблюдения с целью выявления аномалий в соответствующих местах, где могут ожидать утечки или другие нарушения функционирования или куда затруднен доступ персонала (например, главные циркуляционные насосы, люк для оборудования, гермошлюзы для прохода персонала, бассейны реактора).

4.227. При необходимости следует иметь в наличии мобильные камеры.

Шумы и вибрации

4.228. Следует рассматривать возможность проведения измерений и анализа аудиосигналов из защитной оболочки на предмет обнаружения аномалий (например, путем использования спектрального анализа и анализа с преобразованием Фурье для исследования акустических шумов).

Пожары

4.229. В качестве дополнительных средств раннего обнаружения пожаров в каждом отсеке, где существует риск возникновения пожара, следует устанавливать датчики дыма и воспламенения.

Периодические испытания на скорость утечки из защитной оболочки

4.230. Внутри защитной оболочки следует предусматривать соответствующие контрольно-измерительные приборы для проведения периодических испытаний на герметичность. Измерения температуры, давления и влажности, а также скорости утечек следует сочетать с периодическим расчетом массы атмосферы защитной оболочки и оценкой скорости утечки. В случае стальных защитных оболочек следует также измерять температуру стали. Дополнительная информация приведена в разделе 5.

Мониторинг готовности систем

4.231. Следует обеспечивать наличие соответствующих контрольно-измерительных приборов для мониторинга готовности систем, используемых для управления выбросами массы и энергии, обращения с радионуклидами и обращения с горючими газами.

4.232. Готовность систем защитной оболочки следует проверять:

- a) путем непрерывного мониторинга и отображения на блочном щите управления основных параметров, важных для безопасности (рекомендуется использовать единый комплексный монитор критических параметров безопасности);
- b) путем периодических испытаний и инспекций, по мере необходимости;
- c) в случае систем управления выбросами массы и энергии, путем мониторинга положений клапанов, состояния элементов в эксплуатационных состояниях и значений расхода;

- d) в случае систем обращения с радиоактивным материалом, путем мониторинга положений отсечных клапанов, воздушных шлюзов и дверей, давления в надувных уплотнениях воздушных шлюзов и уровней воды в различных баках, необходимых для обеспечения эксплуатации этих систем.

Запуск автоматического режима работы систем

4.233. В случае значительного выброса массы и энергии или радиоактивного материала в защитную оболочку, для обеспечения полного и эффективного управления массой и энергией, радиоактивным материалом и горючими газами, выделяющимися внутри защитной оболочки, необходимо учитывать информацию различного рода. Этот процесс управления следует запускать автоматически или он может запускаться оператором при условии, что имеется достаточное время для осуществления действий оператора.

4.234. Следует обеспечивать, чтобы информация, получаемая в результате мониторинга различных параметров, подтверждала, что внутри защитной оболочки произошел крупный выброс энергии или значительный выброс радиоактивного материала. В зависимости от реакторной технологии или проекта, могут оказаться актуальными следующие факторы:

- a) высокое давление в защитной оболочке;
- b) высокие уровни излучения в атмосфере защитной оболочки;
- c) низкое давление в системе теплоносителя реактора;
- d) незначительный запас на недогрев в системе теплоносителя реактора (для реакторов с водой под давлением);
- e) низкий уровень воды в реакторе с водой под давлением.

4.235. Помимо условий, требующих полного и эффективного управления массой и энергией, газами и радиоактивным материалом, выделяющимися внутри защитной оболочки, существуют и другие события, при которых требуется только индивидуальная изоляция поврежденных линий с целью ограничения выброса радиоактивного материала из защитной оболочки

в окружающую среду¹². Условия приведения в действие изолирующих устройств следует определять по изменению значений соответствующих параметров, таких как:

- a) уровни излучения и аэрозольного радиоактивного загрязнения;
- b) изменения давления в поврежденной системе;
- c) изменения температуры в поврежденной системе;
- d) уровень воды в поврежденной системе.

Аварийный и послеаварийный мониторинг

4.236. Для того чтобы определить состояние станции в случае аварии и обеспечить управление авариями, в блочном пункте управления и в пункте аварийного реагирования следует иметь надлежащие показания контрольно-измерительных приборов и регистрационные документы, позволяющие персоналу определить ситуацию и осуществить действия, указанные в аварийных эксплуатационных процедурах или руководствах по управлению тяжелыми авариями. В состав информации, предоставляемой таким контрольно-измерительным оборудованием, следует включать:

- a) условия и газовый состав внутри защитной оболочки (давление и температура внутри защитной оболочки, уровни излучения, уровни активности аэрозолей, концентрации пара, кислорода или водорода, по мере необходимости);
- b) параметры технологического процесса с целью проверки осуществления требуемых функций безопасности и указания работы требуемых систем безопасности и средств безопасности для запроектных условий (например, расходов, уровней воды в баках и приемках, уровней рабочего давления в системах);
- c) параметры технологического процесса с целью выявления возможности деградации или потери герметичности защитной оболочки (например, положение отсечных клапанов защитной оболочки, состояние люков и дверей, давление в защитной оболочке, радиоактивность аэрозолей в примыкающих зданиях);

¹² Таким событием может быть разрыв за пределами защитной оболочки переносящей радиоактивный материал трубы, которая пересекает защитную оболочку, или отказ в месте сочленения двух взаимосвязанных систем (например, разрыв трубы теплообменника элемента системы водяного охлаждения), который ведет к выбросу радиоактивного материала из системы внутри защитной оболочки в систему, находящуюся за ее пределами.

- d) параметры технологического процесса для осуществления действий, указанных в аварийных процедурах или руководствах по управлению тяжелыми авариями (параметры технологического процесса для контроля давления и для поддержания условий внутри защитной оболочки ниже указанных пределов);
- e) информация для своевременной оценки радиологических последствий и для содействия в принятии решений в отношении долгосрочных мер по защите населения (аварийные меры за пределами площадки). В состав контрольно-измерительных приборов для оценки радиологических последствий могут входить:
 - i) приборы для мониторинга мощности дозы и детекторы аэрозольной активности в защитной оболочке и периферийных зданиях;
 - ii) датчики для мониторинга условий в воде приемка защитной оболочки (например, температуры, pH);
 - iii) мониторы радиоактивности благородных газов, радиоактивного йода и аэрозолей в трубах и в вентиляционных линиях защитной оболочки;
 - iv) индикаторы положения клапанов вентиляции защитной оболочки.

4.237. Следует предусматривать специальное контрольно-измерительное оборудование, позволяющее персоналу блочного пункта управления инициировать долговременные действия, необходимые для поддержания целостности защитной оболочки в случае аварии с расплавлением активной зоны. Следует обеспечивать, чтобы такое контрольно-измерительное оборудование предоставляло информацию об указанных ниже параметрах технологического процесса:

- a) параметрах запуска процесса быстрого снижения давления в системе теплоносителя реактора (до расплавления активной зоны) и подтверждения открытого положения клапанов сброса давления;
- b) параметрах подтверждения затопления полости реактора (при применении стратегии удержания внутри корпуса реактора) или затопления конструкции удержания вне корпуса реактора (при применении стратегии удержания вне корпуса реактора);
- c) параметрах локализации расплавленной активной зоны (для стратегии удержания вне корпуса реактора);
- d) параметрах запуска и подтверждения работы спринклерных систем защитной оболочки;
- e) параметрах запуска и подтверждения работы систем отвода тепла из защитной оболочки;

- f) параметрах запуска вентиляции защитной оболочки (если уместно);
- g) параметрах управления рисками, связанными с наличием водорода.

4.238. Внутри защитной оболочки следует предусмотреть систему мониторинга или отбора проб для оценки рисков взрыва горючих газов. При проектировании системы следует учитывать указанные ниже факторы:

- a) возможные источники горючих газов, такие как взаимодействие между облицовочным материалом и водой, взаимодействие между расплавленной активной зоной и бетоном или радиолиз;
- b) наличие или отсутствие кислорода и инертных газов;
- c) присутствие благородных газов и аэрозолей;
- d) присутствие устройств для рекомбинации водорода и типы этих устройств (активные или пассивные);
- e) достаточное перемешивание атмосферы защитной оболочки во избежание локального накопления водорода.

4.239. Мониторинг может осуществляться посредством прямого измерения концентрации газов или путем отбора проб. Альтернативным способом является оценка рекомбинационной эффективности рекомбинационных установок путем измерения температуры.

4.240. При проектировании следует предусматривать системы пробоотбора атмосферы защитной оболочки и воды приемка в подходящих местах. Следует обеспечивать, чтобы устройства пробоотбора были рассчитаны на работу в ожидаемых условиях защитной оболочки и были установлены таким образом, чтобы избежать байпасирования защитной оболочки в случае их разрыва. Устройства пробоотбора следует проектировать таким образом, чтобы обеспечивать не превышение граничных доз профессионального облучения работников, использующих их.

4.241. Линии мониторинга или пробоотбора, по которым радиоактивный материал может перемещаться за пределы защитной оболочки, следует считать продолжением защитной оболочки, и следует считать, что в отношении них действуют технические условия для конструкционной целостности и герметичности, сопоставимые с теми, которые применяются к конструкции самой защитной оболочки.

5. ИСПЫТАНИЯ И ИНСПЕКЦИИ

5.1. С целью подтверждения того, что защитная оболочка и связанные с ней системы выполняют проектные требования и требования безопасности, во время сооружения, пуска в эксплуатацию и эксплуатации следует проводить в соответствии с апробированными сводами положений и нормами, а также принимая во внимание приведенные ниже рекомендации, испытания и инспекции. Следует также учитывать рекомендации, изложенные в публикации Норм безопасности МАГАТЭ № NS-G-2.6 «Техническое обслуживание, надзор и инспекции при эксплуатации на атомных электростанциях» [23].

5.2. В пунктах 5.3–5.30 представлены рекомендации по выполнению Требования 29 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1].

ИНСПЕКЦИИ ВО ВРЕМЯ СООРУЖЕНИЯ

5.3. На различных стадиях сооружения следует проводить инспекции с целью обеспечения соблюдения проектных и строительных технических условий. Следует отслеживать недостатки, отклонения от норм и несоответствия и сообщать о них. Типичными примерами конструкций, систем и элементов, которые следует подвергать инспекциям, проводимым во время сооружения, являются:

- a) зона закрепления вертикальных элементов предварительно напряженной арматуры;
- b) установка арматуры опорной плиты и бетонные работы;
- c) зона закрепления горизонтальных элементов предварительно напряженной арматуры;
- d) расположение каналов предварительно напряженной арматуры;
- e) работы по установке облицовочных плит;
- f) расположение элементов предварительно напряженной арматуры вокруг крупных проемов.

5.4. Следует обеспечивать, чтобы строительные работы и инспекции проводились квалифицированным персоналом.

ИСПЫТАНИЯ ПРИ ВВОДЕ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ

5.5. С целью подтверждения конструкционной целостности защитной оболочки, определения скорости утечки из границы защитной оболочки и подтверждения характеристик систем и оборудования, перед физическим пуском реактора следует производить испытания при вводе в эксплуатацию защитной оболочки и связанных с ней систем.

Испытание конструкционной целостности

5.6. Для того чтобы подтвердить конструкционную целостность всех частей защитной оболочки, ее границы и несущей давление границы связанных с ней систем, следует произвести опрессовку.

5.7. Опрессовку следует производить при заданном давлении, которое равно по меньшей мере проектному давлению и которое учитывается в применимых сводах положений для используемых материалов. Следует обеспечивать, чтобы значение температуры испытания не приближалось к температуре перехода металлического материала из пластичного состояния в хрупкое.

Комплексные испытания на герметичность границы защитной оболочки

5.8. Следует провести комплексные испытания на герметичность, с тем чтобы подтвердить, что скорость утечки из границы защитной оболочки не превышает заданную максимальную скорость утечки. Данное испытание следует проводить при нахождении элементов защитной оболочки в состоянии (насколько это практически осуществимо), соответствующем условиям, которые будут преобладать после аварии, с целью подтверждения того, что заданная скорость утечки в этих условиях не будет превышена.

5.9. Для того чтобы установить точку отсчета для будущих эксплуатационных испытаний на герметичность, испытание на герметичность, выполняемое при вводе в эксплуатацию, следует проводить под испытательным давлением или давлениях, согласующихся с давлением, выбранным для проведения эксплуатационных испытаний на герметичность, в соответствии с изложенными ниже рекомендациями:

- а) если эксплуатационные испытания проводятся при давлении, меньшем, чем проектное давление, то испытания на герметичность во время

ввода в эксплуатацию следует проводить при значениях давления между величиной, выбранной для эксплуатационных испытаний на скорость утечки, и величиной положительного проектного давления;

- b) если эксплуатационные испытания проводятся при проектном давлении, то эксплуатационные испытания на герметичность во время ввода в эксплуатацию следует проводить при этом давлении.

5.10. При выборе величин(ы) испытательного давления следует принимать во внимание необходимость надежной валидации скорости утечки, принятой в анализе безопасности, в течение всего срока службы станции для всего диапазона расчетных давлений. Существует два следующих метода ее валидации:

- a) метод абсолютного давления: валидация скорости утечки может быть проведена путем измерения падения давления или массы сухого воздуха в зависимости от времени. При этом методе следует производить непрерывное измерение температуры и давления атмосферы защитной оболочки, температуры и давления внешней атмосферы и влажности атмосферы защитной оболочки, а полученные результаты следует вводить в расчеты в виде коэффициентов. Следует предусматривать наличие средств для обеспечения однородности температуры и влажности атмосферы защитной оболочки;
- b) метод референтного корпуса реактора: при методе референтного корпуса реактора определяется масса воздуха в перепаде давления между атмосферой защитной оболочки и атмосферой референтного корпуса реактора. Перепад давления определяется с помощью манометра, одна нитка которого открыта в защитную оболочку под давлением (и с утечкой), в то время как другая нитка присоединена к герметичной системе трубопроводов под давлением, проходящей по всей защитной оболочке. Предполагается, что температура референтного корпуса реактора и температура защитной оболочки равны.

5.11. При проектировании следует учитывать необходимость проведения первичных и периодических испытаний и следует выявлять все элементы, которые могут быть повреждены в ходе испытаний. В проект следует включать все необходимые средства для нагнетания и сброса давления в защитной оболочке, а также соответствующие контрольно-измерительные приборы для проведения испытаний.

5.12. Следует предусматривать наличие в защитной оболочке надлежащего контрольно-измерительного оборудования. С целью определения репрезентативных атмосферных условий в различных зонах защитной оболочки это контрольно-измерительное оборудование следует располагать и устанавливать надлежащим образом либо постоянно, либо тогда, когда это необходимо.

5.13. В случае защитных оболочек с двойными стенками одним из способов определения скорости прямой утечки из защитной оболочки в окружающую среду (т.е. если вода или газ утечек не собираются в кольцеобразном пространстве между внутренней и внешней герметичными стенками) является расчет. Этот расчет позволяет определить разность между а) суммарной скоростью утечки из защитной оболочки, которая определяется при проведении испытаний на герметичность внутренней защитной оболочки (которая включает в себя утечку из внутренней защитной оболочки в кольцеобразное пространство и утечку из внутренней защитной оболочки в атмосферу), и б) скоростью утечки из внутренней защитной оболочки в кольцеобразное пространство, полученной после прекращения вентилирования кольцеобразного пространства (обычно эта величина определяется вычитанием величины нормального потока из вентиляционного отверстия кольцеобразного пространства из величины потока из вентиляционного отверстия кольцеобразного пространства при испытаниях на герметичность).

Локальные испытания на герметичность изолирующих устройств, воздушных шлюзов и проходок

5.14. Для того чтобы определить исходную величину утечки для каждого изолирующего устройства, воздушного шлюза и проходки, следует провести локальные испытания на герметичность. Наиболее чувствительными частями границы защитной оболочки являются перечисленные ниже элементы, и им следует уделять особое внимание:

- а) изолирующие устройства в системах, сообщающихся с атмосферой защитной оболочки;
- б) изолирующие устройства в линиях гидравлической/пневматической системы, проходящих через защитную оболочку;
- в) проходки, которые имеют эластичные или надувные уплотнения и сильфонные компенсаторы, такие как:
 - гермошлюзы для прохода персонала;
 - гермошлюзы для перемещения оборудования;

- люки для оборудования;
- канал для перемещения топлива;
- запасные проходки с болтовым креплением крышек;
- кабельные проходки с эластичными уплотнениями;
- трубные проходки с гибкими сильфонными компенсаторами в соединениях с защитной оболочкой.

5.15. Следует обеспечивать, чтобы проект позволял проведение испытаний на герметичность изолирующих устройств, воздушных шлюзов, проходок и расширений защитной оболочки.

5.16. Следует обеспечивать, чтобы проект способствовал проведению локальных испытаний, обеспечивая доступ к проходкам и обеспечивая наличие необходимых соединений и отсечных клапанов.

5.17. Для достижения большей точности измерений скорости утечки и улучшения обнаружения клапанов с утечками следует предусматривать возможность индивидуальных испытаний клапанов.

Функциональные испытания оборудования и электропроводки в защитной оболочке

5.18. С целью проверки того, что характеристики систем, связанных с защитной оболочкой, соответствуют проектным техническим условиям, следует проводить испытания, если только такие испытания не оказывают отрицательного влияния на безопасность.

5.19. Для подтверждения того, что отклонения от проекта отсутствуют и что все соединения выполнены в соответствии с ним, следует провести испытания всех электрических линий, связанных с системами защитной оболочки.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ И ИНСПЕКЦИИ

5.20. Для подтверждения того, что системы защитной оболочки продолжают выполнять проектные требования и требования безопасности на протяжении всего срока эксплуатации станции, следует проводить периодические комплексные эксплуатационные испытания на герметичность, локальные испытания на герметичность и инспекции.

5.21. Методы испытаний и периодичность эксплуатационных испытаний следует определять таким образом, чтобы отражать важность для безопасности соответствующих узлов. При разработке методов испытаний и определении их периодичности следует принимать во внимание необходимые уровни характеристик и надежности систем защитной оболочки как индивидуально, так и в целом.

5.22. Для проведения приемо-сдаточных и эксплуатационных испытаний защитной оболочки давлением и на герметичность следует предусматривать соответствующие средства, причем для целей структурного проектирования следует учитывать связанные с этим нагрузки.

5.23. Общие руководящие материалы по проведению инспекций в процессе эксплуатации содержатся в публикации GS-G-3.5 [9].

Испытания конструкционной целостности

5.24. Для подтверждения того, что защитная оболочка продолжает выполнять свои функции, как это предусмотрено проектом, следует проводить периодические испытания конструкционной целостности. Следует обеспечивать, чтобы испытательное давление имело ту же величину, что и при пусконаладочных испытаниях, и соответствовало величинам, указанным в применимых сводах положений по проектированию. При проектировании следует обращать внимание на дополнительные напряжения, вызываемые испытаниями, и следует таким образом устанавливать величины испытательного давления, чтобы при испытаниях на защитную оболочку не воздействовали избыточные напряжения. При проведении любого испытания конструкционной целостности следует провести испытание на герметичность. В некоторых государствах вместо испытания на герметичность предварительно напряженных бетонных защитных оболочек, оборудованных армканатами без сцепления с бетоном, может быть применена программа контроля элементов предварительно напряженной арматуры, хотя испытание на герметичность все равно будет необходимо.

Комплексные испытания на герметичность границы защитной оболочки

5.25. Следует обеспечивать, чтобы проект предусматривал возможность проведения периодических эксплуатационных испытаний скорости утечки, с тем чтобы проверить, что скорость утечки, принятая при анализе

безопасности, обеспечивается на протяжении всего срока эксплуатации станции. Эксплуатационные испытания скорости утечки могут проводиться либо:

- a) при давлении, которое позволяет достаточно точно экстраполировать измеренную скорость утечки на скорости утечки при давлениях в аварийных условиях, рассматриваемых при анализе безопасности;
- b) при проектном давлении в защитной оболочке.

5.26. Существуют также методы, позволяющие обеспечивать непрерывную оценку общей скорости утечки из защитной оболочки в ходе эксплуатации станции и получать грубые оценки скоростей утечки из защитной оболочки в аварийных условиях. Такие подходы обычно основаны на изменениях давления в защитной оболочке или баланса массы в ходе нормальной эксплуатации станции. В некоторых случаях использование этих методов вместе с широким применением локальных испытаний скоростей утечки в период останова для перегрузки топлива может оправдать снижение частоты проведения комплексных испытаний.

5.27. В защитных оболочках с бассейном-барботером, для обеспечения того, что байпасный расход утечки через бассейн соответствует значению, которое рассматривается при анализе безопасности, следует предусматривать средства для периодической оценки любой утечки, которая могла бы привести к байпасированию бассейна.

Визуальный контроль

5.28. Визуальный контроль важен для мониторинга и обнаружения эффектов старения, трещин и мониторинга их развития. Визуальный контроль может дополнять результаты мониторинга конструкций и контрольно-измерительного оборудования.

5.29. В тех случаях, где это технически осуществимо, в проекте следует предусматривать полный визуальный контроль конструкций защитной оболочки (включая арматуру предварительно напряженных бетонных защитных оболочек), проходки и изолирующие устройства.

5.30. Визуальный контроль границы защитной оболочки следует проводить совместно с испытаниями, указанными в пунктах 5.24 и 5.25. Следует обеспечивать, чтобы метод визуального контроля, который следует применять, был специально аттестован для выявления типа и размера

трещин и других дефектов, которые определены как важные точки зрения утечки и конструкционной целостности.

Дополнение

СТАНЦИИ, СПРОЕКТИРОВАННЫЕ СОГЛАСНО ПРЕЖНИМ СТАНДАРТАМ

А.1. Пункт 1.3 публикации SSR-2/1 (Rev. 1) [1] гласит:

«Однако, может быть, на практике невозможно применить все требования, содержащиеся в настоящей публикации категории «Требования безопасности», на уже действующих АЭС или на АЭС, находящихся в стадии строительства. Кроме того, может быть, не целесообразно изменять конструкции, которые уже были одобрены регулирующими органами. Ожидается, что для анализа безопасности таких конструкций будет проведено их сравнение с современными стандартами безопасности, например в рамках периодического рассмотрения безопасности станции, с тем чтобы определить, можно ли будет достичь дальнейшего повышения безопасности эксплуатации станции на основе внедрения практически осуществимых усовершенствований систем безопасности».

А.2. Это подразумевает, что способность существующих станций выдерживать аварийные условия, не учтенные в их исходных проектных основах, следует систематически оценивать с дальнейшей целью повышения существующего уровня безопасности и, в особенности, общей эффективности защитной оболочки и связанных с ней систем.

А.3. Большинство защитных оболочек и связанных с ними систем существующих станций были рассчитаны на проектные аварии (например, аварии с большой потерей теплоносителя) без учета возможности возникновения более тяжелых аварий. Однако оценки безопасности показали, что консервативные детерминированные подходы, которым изначально следовало при проектировании, привели к возможности выдерживать ситуации более тяжелые, чем те, которые были первоначально включены в проектные основы существующих станций .

А.4. Оценку следует проводить на основе набора запроектных условий, последствия которых следует анализировать с целью дальнейшего

повышения безопасности атомной электростанции для достижения указанного ниже:

- a) повышения способности станции выдерживать более сложные события, условия и опасности, чем те, которые рассмотрены в проектных основах;
- b) сведения к минимуму радиоактивных выбросов, опасных для населения и окружающей среды, насколько это практически осуществимо при таких событиях или условиях.

A.5. Хотя запроектные условия, подлежащие оценке, зависят от реакторной технологии и конструкции, в выбранный набор запроектных условий следует систематически включать ситуации с расплавлением активной зоны, явления, которые могут приводить к потере целостности защитной оболочки, и внешние события, которые выходят за пределы исходной проектной основы.

A.6. При оценке потенциальной незначительной модификации следует использовать общий подход, который учитывает вклады в обеспечение безопасности установленного оборудования, временного оборудования и аварийных мер по защите населения.

A.7. Следует обеспечивать, чтобы целью оценки было обоснование, с разумной степенью уверенности, того, что соответствующее оборудование будет находиться в состоянии готовности к выполнению ожидаемой функции. При оценке могут использоваться реалистичные модели и допущения, а также различные критерии приемлемости для них применительно к проектным авариям, при условии того, что отсутствие порогового эффекта все же может быть обосновано.

A.8. Оценка устойчивости конструкции или механического оборудования может быть выполнена с применением детерминированных методов, вероятностных методов или сочетания этих двух методов.

A.9. Оценку герметичности, целостности или работоспособности конструкций и элементов следует выполнять с учетом приемлемых неопределенностей в нагрузках и реакциях конструкции или элемента.

A.10. Следует обеспечивать, чтобы меры по незначительной модификации для предотвращения радиоактивных выбросов на ранней стадии или для

проведения краткосрочных действий не предусматривали использование передвижного оборудования, расположенного за пределами площадки.

А.11. Хотя для предотвращения крупных радиоактивных выбросов следует предпочтительно использовать стационарное оборудование (как для новых станций), в тех случаях, когда на станции имеются надлежащие средства подключения, может быть приемлем более гибкий подход к использованию временного оборудования.

А.12. Следует провести на основании современных методик и метеорологических и геологических данных переоценку всех природных опасностей, рассмотренных в проектных основах. Следует учитывать опасности, которые способны оказывать негативное воздействие на защитную оболочку, но еще не были оценены в проектных основах, и следует оценивать последствия их воздействия. Следует провести оценку проекта защитной оболочки и связанных с ней систем для аварийных условий за пределами исходных проектных условий, с тем чтобы узнать, смогут ли они выполнять назначенную им функцию с надлежащими запасами в новых условиях.

А.13. Следует оценивать устойчивость конструкций и элементов, необходимых для предотвращения радиоактивных выбросов, требующих долговременных защитных действий, к воздействию природных опасностей, тяжесть которых превышает тяжесть опасностей, рассмотренных при проектировании.

А.14. В отношении проблем целостности защитной оболочки следует предпринимать указанные ниже меры:

- a) следует определять и надежно предотвращать условия, ведущие к прямому нагреву защитной оболочки;
- b) следует определять возможность паровых взрывов, а также следует оценивать последствия таких взрывов;
- c) следует осуществлять различные и неодинаковые средства контроля роста давления внутри защитной оболочки в различных состояниях станции;
- d) следует осуществлять множественные средства отвода тепла из защитной оболочки в различных состояниях станции;
- e) если для определенных событий, выходящих за пределы исходных проектных основ, необходима вентиляционная система защитной оболочки, то следует обеспечивать, чтобы она была надежной и

достаточно устойчивой и могла выдерживать нагрузки, связанные с опасностями (например, землетрясениями) и аварийными условиями, а также выдерживать динамические и статические нагрузки давления, которые присутствуют во время эксплуатации системы вентиляции защитной оболочки;

- f) следует осуществлять конкретные средства безопасности для обеспечения охлаждения и стабилизации расплавленной активной зоны.

А.15.В отношении контроля радиоактивных выбросов следует предпринимать указанные ниже меры:

- a) следует изолировать все трубопроводные проходки в защитной оболочке, за исключением трубопроводов систем, необходимых для смягчения аварийных условий;
- b) в аварийных условиях с расплавлением активной зоны следует, насколько это возможно, поддерживать герметичность защитной оболочки;
- c) следует осуществлять различные средства с целью уменьшения количества радиоактивного материала в атмосфере защитной оболочки в аварийных условиях;
- d) следует выявлять механизмы и потенциальные пути непреднамеренного байпасирования защитной оболочки и производить оценку последствий этого;
- e) если необходима вентиляция атмосферы защитной оболочки, следует предусмотреть возможность надежного перекрытия линий вентиляции защитной оболочки;
- f) в отношении преднамеренных выбросов (например, вентиляции защитной оболочки) в случае тяжелой аварии следует рассмотреть вопрос об обеспечении фильтрации с помощью высокоэффективных фильтров перед сбросом в окружающую среду.

А.16. Что касается обращения с горючими газами, то следует оценивать риски различных видов воспламенения водорода, а также при необходимости следует осуществить надлежащие меры с целью предотвращения воспламенений водорода, угрожающих целостности защитной оболочки, и контроля концентрации горючих газов внутри защитной оболочки.

А.17.В отношении контрольно-измерительного оборудования следует принимать указанные ниже меры:

- а) следует оценивать работоспособность, надежность и пригодность контрольно-измерительного оборудования (например, в отношении диапазонов измерения, аттестации на воздействие окружающей среды и энергоснабжения) с целью обеспечения того, чтобы эксплуатационный персонал получал необходимую и надежную информацию о состоянии защитной оболочки в различных состояниях станции;
- б) защитную оболочку следует оснастить измерительными и контрольными приборами, которые предоставляют достаточную информацию о развитии аварий с расплавлением активной зоны и угрозах целостности защитной оболочки и с помощью которых эксплуатационный персонал может предпринимать необходимые действия в соответствии с руководством по управлению тяжелыми авариями. Любое новое контрольно-измерительное оборудование для контроля развития тяжелых аварий следует аттестовать на воздействие соответствующих аварийных условий с расплавлением активной зоны.

А.18.В отношении временного оборудования следует принимать указанные ниже меры:

- а) временное оборудование, которое потребуется для сведения к минимуму последствий событий, которые не могут быть смягчены средствами, установленными на станции, следует хранить и защищать, с тем чтобы обеспечить его своевременный ввод в эксплуатацию, когда это необходимо, с учетом возможного ограниченного доступа в связи с внешними событиями (например, затоплением, повреждением дорог);
- б) использование временного оборудования может оказаться оправданным при условии, что имеется обоснование, подтверждающее, что время, необходимое для борьбы с аварией с целью предотвратить отказ защитной оболочки, достаточно велико, что позволяет использовать это оборудование.

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- [1] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Безопасность атомных электростанций: проектирование, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSR-2/1 (Rev.1), МАГАТЭ, Вена (2016).
- [2] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности: терминология, используемая в области ядерной безопасности и радиационной защиты, Издание 2018 года, МАГАТЭ, Вена (2023).
- [3] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Проектирование систем для обращения с топливом и его хранения на атомных электростанциях, Серия норм безопасности МАГАТЭ № NS-G-1.4, МАГАТЭ, Вена (2005). (Готовится пересмотренный вариант этой публикации.)
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Storage of Spent Nuclear Fuel, IAEA Safety Standards Series No. SSG-15, IAEA, Vienna (2012). (Готовится пересмотренный вариант этой публикации.)
- [5] 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).
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Considerations on the Application of the IAEA Safety Requirements for the Design of Nuclear Power Plants, IAEA-TECDOC-1791, IAEA, Vienna (2016).
- [7] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Лидерство и менеджмент для обеспечения безопасности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 2, МАГАТЭ, Вена (2016).
- [8] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Применение системы управления для установок и деятельности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GS-G-3.1, МАГАТЭ, Вена (2009).
- [9] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Система управления для ядерных установок, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GS-G-3.5, МАГАТЭ, Вена (2014).
- [10] 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 (2011).

- [11] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Защита от внутренних пожаров и взрывов при проектировании атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-1.7, МАГАТЭ, Вена (2008). (Готовится пересмотренный вариант этой публикации.)
- [12] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Учет внешних событий, исключая землетрясения, при проектировании атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-1.5, МАГАТЭ, Вена (2008).
- [13] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Проектирование и аттестация сейсмостойких конструкций для атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-1.6, МАГАТЭ, Вена (2008). (Готовится пересмотренный вариант этой публикации.)
- [14] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Классификация конструкций, систем и элементов атомных электростанций по безопасности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-30, МАГАТЭ, Вена (2023).
- [15] AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, “Rules for construction of pressure vessels”, ASME Boiler and Pressure Vessel Code, ASME, New York (2013) Sect. III, Div. 1.
- [16] AFCEN, Design and Construction Rules for Mechanical Components of PWR Nuclear Islands (RCC-M 2012), AFCEN, Paris (2012).
- [17] JAPAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, Codes for Nuclear Power Generation Facilities: Rules on Design and Construction for Nuclear Power Plants, JSME, Tokyo (2009) (на японском языке).
- [18] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Управление старением и разработка программы долгосрочной эксплуатации атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ № SSG-48, МАГАТЭ, Вена (2023).
- [19] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Аспекты радиационной защиты при проектировании атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-1.13, МАГАТЭ, Вена (2008).
- [20] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, МЕЖДУНАРОДНОЕ БЮРО ТРУДА, Радиационная защита при профессиональном облучении, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSG-7, МАГАТЭ, Вена (2021).
- [21] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Вывод из эксплуатации атомных электростанций, исследовательских реакторов и других установок ядерного топливного цикла, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-47, МАГАТЭ, Вена (2023).
- [22] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Проектирование систем контроля и управления для атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-39, МАГАТЭ, Вена (2018).
- [23] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Техническое обслуживание, надзор и инспекции при эксплуатации на атомных электростанциях, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-2.6, МАГАТЭ, Вена (2005).

СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ

Asfaw, K.	Международное агентство по атомной энергии
Azarian, G.	консультант, Франция
Barbaud, J.	«Электрисите де Франс», Франция
Bettle, J.	Комиссия по ядерному регулированию, Соединенные Штаты Америки
Fukazawa, M.	Управление по ядерному регулированию, Япония
Gasparini, M.	консультант, Италия
Koski, S.	«Теоллисууден войма ой», Финляндия
Poulat, B.	Международное агентство по атомной энергии
Sairanen, R.	Управление по радиационной и ядерной безопасности, Финляндия
Shaw, P.	Международное агентство по атомной энергии
Takii, T.	«Хитачи-Дженерал Электрик Нуклеар Энерджи», Япония
Tarallo, F.	Институт радиационной защиты и ядерной безопасности, Франция
Tardivel, J.P.	Институт радиационной защиты и ядерной безопасности, Франция
Titus, B.	Комиссия по ядерному регулированию США, Соединенные Штаты Америки
Toth, C.	Международное агентство по атомной энергии
Uhrig, E.	«Арева», Германия
Yllera, J.	Международное агентство по атомной энергии



IAEA

Международное агентство по атомной энергии

№ 26

ЗАКАЗ В СТРАНАХ

Платные публикации МАГАТЭ могут быть приобретены у перечисленных ниже поставщиков или в крупных книжных магазинах.

Заказы на бесплатные публикации следует направлять непосредственно в МАГАТЭ. Контактная информация приводится в конце настоящего перечня

СЕВЕРНАЯ АМЕРИКА

Bernan / Rowman & Littlefield

15250 NBN Way, Blue Ridge Summit, PA 17214, USA

Тел.: +1 800 462 6420 • Факс: +1 800 338 4550

Эл.почта: orders@rowman.com • Сайт: <http://www.rowman.com/bernan>

ОСТАЛЬНЫЕ СТРАНЫ

Просьба связаться с местным поставщиком по вашему выбору или с вашим основным дистрибьютером:

Eurospan Group

Gray's Inn House
127 Clerkenwell Road
London EC1R 5DB
United Kingdom

Торговые заказы и справочная информация:

Тел: +44 (0) 1767604972 • Факс: +44 (0) 1767601640

Эл.почта: eurospan@turpin-distribution.com

Индивидуальные заказы:

www.eurospanbookstore.com/iaea

Дополнительная информация:

Тел: +44 (0) 2072400856 • Факс: +44 (0) 2073790609

Эл.почта: info@eurospangroup.com • Сайт: www.eurospangroup.com

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

Группа маркетинга и сбыта (Marketing and Sales Unit)

Международное агентство по атомной энергии

Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria

Телефон: +43 1 2600 22529 или 22530 • Факс: +43 1 26007 22529

Эл.почта: sales.publications@iaea.org • Сайт: <https://www.iaea.org/ru/publikacii>

Обеспечение безопасности с помощью международных норм

**МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
ВЕНА**