Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

СЕРИЯ НОРМ МАГАТЭ ПО БЕЗОПАСНОСТИ

Проектирование систем защитной оболочки реактора для атомных электростанций

РУКОВОДСТВА

№ NS-G-1.10

IAEA
Международное агентство по атомной энергии

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ РЕАКТОРА ДЛЯ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

Членами Международного агентства по атомной энергии являются следующие государства:

АВСТРАЛИЯ
АВСТРИЯ
АЗЕРБАЙДЖАН
АЛБАНИЯ
АЛЖИР
АНГОЛА
АРГЕНТИНА
АРМЕНИЯ
АФГАНИСТАН
БАНГЛАДЕШ
БЕЛАРУСЬ
БЕЛЬГИЯ
БЕЛИЗ
БЕНИН
БОЛГАРИЯ
БОЛИВИЯ
БОСНИЯ И ГЕРЦЕГОВИНА
БОТСВАНА
БРАЗИЛИЯ
БУРКИНА-ФАСО
БЫВШАЯ ЮГОСЛ. РЕСП. МАКЕДОНИЯ
ВЕНГРИЯ
ВЕНЕСУЭЛА
ВЬЕТНАМ
ГАБОН
ГАИТИ
ГАНА
ГВАТЕМАЛА
ГЕРМАНИЯ
ГОНДУРАС
ГРЕЦИЯ
ГРУЗИЯ
ДАНИЯ
ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА КОНГО
ДОМИНИКАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА
ЕГИПЕТ
ЗАМБИЯ
ЗИМБАБВЕ
ИЗРАИЛЬ
ИНДИЯ
ИНДОНЕЗИЯ
ИОРДАНИЯ
ИРАК
ИРАН, ИСЛАМСКАЯ РЕСПУБЛИКА
ИРЛАНДИЯ
ИСЛАНДИЯ
ИСПАНИЯ
ИТАЛИЯ
ЙЕМЕН
КАЗАХСТАН
КАМЕРУН
КАНАДА
КАТАР
КЕНИЯ
КИПР
КИТАЙ
КОЛУМБИЯ
КОРЕЯ, РЕСПУБЛИКА
КОСТА-РИКА
КОТ-Д'ИВУАР
КУБА
КУВЕЙТ
КЫРГЫЗСТАН
ЛАТВИЯ
ЛИБЕРИЯ
ЛИВАН
ЛИВИЙСКАЯ АРАБСКАЯ ДЖАМАХИРИЯ
ЛИТВА
ЛИХТЕНШТЕЙН
ЛЮКСЕМБУРГ
МАВРИКИЙ
МАВРИТАНИЯ
МАДАГАСКАР
МАЛАВИ
МАЛАЙЗИЯ
МАЛИ
МАЛЬТА
МАРОККО
МАРШАЛЛОВЫ ОСТРОВА
МЕКСИКА
МОНАКО
МОНГОЛИЯ
МОЗАМБИК
МЬЯНМА
НАМИБИЯ
НИГЕР
НИГЕРИЯ
НИДЕРЛАНДЫ
НИКАРАГУА
НОВАЯ ЗЕЛАНДИЯ
НОРВЕГИЯ
ОБЪЕДИНЕННАЯ РЕСПУБЛИКА ТАНЗАНИЯ
ОБЪЕДИНЕННЫЕ АРАБСКИЕ ЭМИРАТЫ
ПАКИСТАН
ПАЛАУ
ПАНАМА
ПАРАГВАЙ
ПЕРУ
ПОЛЬША
ПОРТУГАЛИЯ
РЕСПУБЛИКА МОЛДОВА
РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ
РУМЫНИЯ
САЛЬВАДОР
САУДОВСКАЯ АРАВИЯ
СЕЙШЕЛЬСКИЕ ОСТРОВА
СВЯТЕЙШИЙ ПРЕСТОЛ
СЕНЕГАЛ
СЕРБИЯ
СИНГАПУР
СИРИЙСКАЯ АРАБСКАЯ РЕСПУБЛИКА
СЛОВАКИЯ
СЛОВЕНИЯ
СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО ВЕЛИКОБРИТАНИИ И СЕВЕРНОЙ ИРЛАНДИИ
СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ
СУДАН
СЬЕРРА-ЛЕОНЕ
ТАДЖИКИСТАН
ТАИЛАНД
ТУНИС
ТУРЦИЯ
УГАНДА
УЗБЕКИСТАН
УКРАИНА
УРУГВАЙ
ФИЛИППИНЫ
ФИНЛЯНДИЯ
ФРАНЦИЯ
ХОРВАТИЯ
ЦЕНТРАЛЬНОАФРИКАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА
ЧАД
ЧЕРНОГОРИЯ
ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА
ЧИЛИ
ШВЕЙЦАРИЯ
ШВЕЦИЯ
ШРИ-ЛАНКА
ЭКВАДОР
ЭРИТРЕЯ
ЭСТОНИЯ
ЭФИОПИЯ
ЮЖНАЯ АФРИКА
ЯМАЙКА
ЯПОНИЯ

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”.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

Серия норм по безопасности, № NS-G-1.10

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ РЕАКТОРА ДЛЯ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ

МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
ВЕНА, 2008 ГОД

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКОМ ПРАВЕ

Все научные и технические публикации МАГАТЭ защищены в соответствии с положениями Всемирной конвенции об авторском праве в том виде, как она была принята в 1952 году (Берн) и пересмотрена 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 является предметом соглашений о роялти. Предложения о некоммерческом воспроизведении и переводе приветствуются и рассматриваются в каждом отдельном случае. Вопросы следует направлять в Издательскую секцию МАГАТЭ по адресу:

Группа продажи и рекламы
Издательская секция
Международное агентство по атомной энергии
Wagramer Strasse 5
P.O. Box 100
1400 Vienna, Austria
факс: +43 1 2600 29302
тел.: +43 1 2600 22417
эл. почта: sales.publications@iaea.org
веб-сайт: http://www.iaea.org/books

© МАГАТЭ, 2008

Напечатано МАГАТЭ в Австрии
Январь 2008 года

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ РЕАКТОРА
ДЛЯ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

МАГАТЭ, ВЕНА, 2008
STI/PUB/1189
ISBN 978–92–0–402408–1
ISSN 1020–5845

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Мохамед ЭльБарадей
Генеральный директор

Одна из уставных функций МАГАТЭ сводится к тому, чтобы устанавливать или применять нормы безопасности для охраны здоровья, жизни и имущества в деятельности по освоению и применению ядерной энергии в мирных целях, а также обеспечивать применение этих норм как в своей собственной работе, так и в работе, в которой оказывается помощь, и, по требованию сторон, в деятельности, проводимой на основании любого двустороннего или многостороннего соглашения, или, по требованию того или иного государства, к любому виду деятельности этого государства в области ядерной энергии.

Наблюдение за разработкой норм безопасности осуществляют следующие органы: Комиссия по нормам безопасности (КНБ); Комитет по нормам ядерной безопасности (НУССК); Комитет по нормам радиационной безопасности (РАССК); Комитет по нормам безопасности перевозки (ТРАНССК); и Комитет по нормам безопасности отходов (ВАССК). Государства-члены широко представлены в этих комитетах.

Чтобы обеспечить широчайший международный консенсус, нормы безопасности направляются также всем государствам-членам для замечаний перед их одобрением Советом управляющих МАГАТЭ (в случае Основ безопасности и Требований безопасности) или, от имени Генерального директора, Комитетом по публикациям (в случае Руководств по безопасности).

Нормы безопасности МАГАТЭ не имеют юридически обязательной силы для государств-членов, но они могут приниматься ими по их собственному усмотрению для использования в национальных регулирующих положениях, касающихся их собственной деятельности. Эти нормы обязательны для МАГАТЭ в отношении его собственной работы и для государств в отношении операций, в которых МАГАТЭ оказывает помощь. Любое государство, желающее вступить в соглашение с МАГАТЭ, касающееся его помощи в связи с выбором площадки, проектированием, строительством, вводом в эксплуатацию, эксплуатацией или снятием с эксплуатации ядерной установки или любой другой деятельностью, должно будет выполнять те части норм безопасности, которые относятся к деятельности, охватываемой соглашением. Однако следует помнить, что ответственность за принятие окончательных решений и юридическая ответственность в любых процедурах лицензирования возлагается на государства.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

Нормы безопасности устанавливают важнейшие основы для безопасности, однако может также потребоваться включение более детальных требований, отражающих национальную практику. Кроме того, будут включаться, как правило, специальные вопросы, которые должны оцениваться на индивидуальной основе.

Физическая защита делящихся и радиоактивных материалов и АЭС в целом упоминается в надлежащих случаях, но не рассматривается подробно; к обязательствам государств в этом отношении следует подходить на основе соответствующих договорно-правовых документов и публикаций, разработанных под эгидой МАГАТЭ. Нерадиологические аспекты техники безопасности на производстве и охраны окружающей среды также прямо не рассматриваются; признано, что государства должны выполнять свои международные обязательства и обязанности относительно них.

Требования и рекомендации, изложенные в нормах безопасности МАГАТЭ, возможно, не полностью соблюдаются на некоторых установках, построенных в соответствии с принятыми ранее нормами. Решения о том, как нормы безопасности должны применяться на таких установках, будут приниматься государствами.

Внимание государств обращается на тот факт, что нормы безопасности МАГАТЭ, не являясь юридически обязательными, разработаны с целью обеспечения того, чтобы применение ядерной энергии и радиоактивных материалов в мирных целях осуществлялось таким образом, который дает возможность государствам выполнять свои обязательства в соответствии с общепринятыми принципами международного права и правилами, касающимися охраны окружающей среды. Согласно одному такому общему принципу территория государства не должна использоваться так, чтобы причинить ущерб в другом государстве. Государства, следовательно, обязаны проявлять должную осмотрительность и соответствующую осторожность.

Гражданская ядерная деятельность, осуществляемая в рамках юрисдикции государств, как и любая другая деятельность, подпадает под действие обязательств, которые государства могут принимать согласно международным конвенциям в дополнение к общепринятым принципам международного права. Государствам надлежит принимать в рамках своих национальных юридических систем такое законодательство (включая правила) и другие нормы и меры, которые могут быть необходимы для эффективного выполнения всех взятых на себя международных обязательств.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

РЕДАКЦИОННОЕ ПРИМЕЧАНИЕ

Дополнение, если оно включено, представляет собой неотъемлемую часть норм и имеет тот же статус, что и основной текст. Приложения, сноски и списки литературы, если они включены, содержат дополнительную информацию или практические примеры, которые могут оказаться полезными для пользователя.

Формулировка “должен, должна, должно, должны” используется в нормах безопасности в случаях, когда речь идет о требованиях, обязанностях и обязательствах. Для рекомендации желательного варианта используется формулировка “следует”.

Официальным текстом является английский вариант.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ 1

Общие сведения (1.1–1.3) 1
Цель (1.4–1.5) 2
Область применения (1.6–1.9) 2
Структура (1.10) 3

2. СИСТЕМЫ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ И ИХ ФУНКЦИИ БЕЗОПАСНОСТИ 3

Общие положения (2.1–2.2) 3
Локализация радиоактивного материала (2.3–2.14) 4
Защита от внешних событий (2.15) 6
Биологическая защита (2.16) 7

3. ОБЩИЕ ПРОЕКТНЫЕ ОСНОВЫ СИСТЕМ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ 7

Определение проектных основ (3.1–3.28) 7

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ РЕАКТОРА ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СОСТОЯНИЙ И ДЛЯ ПРОЕКТНЫХ АВАРИЙ 15

Общие положения (4.1–4.40) 15
Проектирование конструкций систем защитной оболочки (4.41–4.81) 24
Устройства для поглощения энергии в защитной оболочке (4.82–4.120) 37
Обращение с радионуклидами (4.121–4.155) 47
Контроль горючих газов (4.156–4.166) 55
Механические устройства защитных оболочек (4.167–4.195) 58
Материалы (4.196–4.214) 65
Контрольно-измерительные системы и системы аварийной защиты (4.215–4.234) 68
Обеспечивающие системы (4.235–4.238) 73

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

5. ИСПЫТАНИЯ И ПРОВЕРКИ 74

Приемочные испытания (5.1–5.14) 74
Эксплуатационные испытания и проверки (5.15–5.31) 77

6. УЧЕТ ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ 80

Общие положения (6.1–6.7) 80
Работа конструкции защитной оболочки (6.8–6.12) 83
Поглощение энергии в защитной оболочке (6.13–6.17) 85
Обращение с радионуклидами (6.18–6.21) 86
Контроль горючих газов (6.22–6.27) 87
Контрольно-измерительные приборы (6.28–6.33) 88
Руководство по управлению тяжелыми авариями (6.34) 90

ДОПОЛНЕНИЕ: КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ 91

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ 97

ПРИЛОЖЕНИЕ I: ПРИМЕРЫ ПРОЕКТНЫХ КОНЦЕПЦИЙ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ 99

ПРИЛОЖЕНИЕ II: ИЛЛЮСТРАЦИЯ КАТЕГОРИЙ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИЗОЛЯЦИИ 120

ПРИЛОЖЕНИЕ III: ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ТЯЖЕЛОЙ АВАРИИ 121

СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ 127

ОРГАНЫ, УЧАСТВУЮЩИЕ В УТВЕРЖДЕНИИ НОРМ БЕЗОПАСНОСТИ 129

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

1. ВВЕДЕНИЕ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Настоящее Руководство по безопасности было подготовлено в рамках программы МАГАТЭ по нормам безопасности для атомных электростанций. Настоящий документ является переработанным и исправленным изданием руководства по безопасности "Проектирование систем защитной оболочки реактора атомных электростанций" (Серия изданий по безопасности № 50-SG-D12), выпущенного в 1985 году, и дополняет публикацию по требованиям безопасности "Безопасность атомных электростанций: Проектирование [1]". Настоящее руководство по безопасности было подготовлено на основе систематического обзора соответствующих публикаций, включая "Безопасность атомных электростанций: Проектирование [1]", публикация категории Основы безопасности "Безопасность ядерных установок [2]", Руководства по безопасности [3–5], доклады ИНСАГ [6, 7], Технический отчет [8] и других публикаций по безопасности атомных электростанций.

1.2. Локализация радиоактивного материала в пределах АЭС, включая контроль сбросов и минимизацию выбросов, является основной функцией безопасности, которая должна быть обеспечена в нормальных эксплуатационных режимах, при ожидаемых при эксплуатации событиях, в случае проектных аварий и, насколько это практически осуществимо, в случае отдельных запроектных аварий (см. [1], пункт 4.6). В соответствии с концепцией глубокоэшелонированной защиты эта основная функция безопасности достигается посредством нескольких барьеров и уровней защиты [6]. В большинстве конструкций третьи и четвертые уровни защиты достигнуты главным образом посредством прочной конструкции, окружающей ядерный реактор. Эта структура называется "конструкцией защитной оболочки" или просто "защитной оболочкой". Это определение также применяется к двойным защитным оболочкам.

1.3. Инструкция защитной оболочки также защищает реактор от внешних событий и обеспечивает радиационную защиту в эксплуатационных состояниях и аварийных условиях. Конструкцию защитной оболочки и связанные с нею системы с функциями изоляции, поглощения энергии в защитной оболочке, обращения с радионуклидами и контроля горючих газов называют системами защитной оболочки.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

ЦЕЛЬ

1.4. Требования к проектированию систем защитной оболочки установлены в разделе 6 документа [1]. Цель настоящего руководства по безопасности состоит в том, чтобы выработать рекомендации по осуществлению и выполнению этих требований. Ожидается, что настоящая публикация будет использоваться прежде всего для наземных, стационарных АЭС с водоохлаждаемыми реакторами, предназначенными для производства электроэнергии или выработки тепловой энергии для таких применений, как централизованное теплоснабжение или опреснение воды. Авторы отдают себе отчет в том, что для других типов реакторов, включая будущие системы электростанций с использованием инновационных разработок, некоторые из рекомендаций, возможно, неприменимы, либо их применение потребует некоторой интерпретации.

1.5. Настоящая публикация предназначается для использования организациями, ответственными за проектирование, изготовление, сооружение и эксплуатацию атомных электростанций, а также регулирующими органами.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

1.6. Настоящее руководство по безопасности главным образом основано на опыте, полученном на основании проектирования и эксплуатации существующих реакторов, и это же применимо к наиболее распространенным типам защитных оболочек. Это руководство также содержит некоторые общие рекомендации по конструктивным особенностям, которые будут использоваться в новых атомных электростанциях для борьбы с тяжелыми авариями.

1.7. Настоящее руководство по безопасности рассматривает функциональные аспекты основных систем защитной оболочки: для поглощения энергии, обращения с радионуклидами и контроля горючих газов. Особое внимание уделено определению проектных основ систем защитной оболочки, в частности тем аспектам, которые оказывают влияние на строительное проектирование, таким, как определение нагрузок и их сочетание.

1.8. Приводятся рекомендации по испытаниям и проверкам, которые нужны для обеспечения того, что функциональные требования к системам защитной оболочки будут выполняться на протяжении всего срока эксплуатации атомной электростанции.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

1.9. Проектные пределы и критерии приемлемости, а также параметры систем, которые необходимы для проверки этого, являются специфичными для каждого проекта и для каждого государства, и, следовательно, выходят за рамки области применения настоящего руководства по безопасности, которое, однако, дает общие рекомендации по этому вопросу.

СТРУКТУРА

1.10. Раздел 2 рассматривает вопросы функций безопасности систем защитной оболочки и их основные особенности. Раздел 3 рассматривает общие проектные основы систем защитной оболочки. Раздел 4 дает рекомендации по проектированию систем защитной оболочки для условий эксплуатационных состояний и для условий проектных аварий. Раздел 5 рассматривает вопрос проверок и инспекций и дает рекомендации по приемочным испытаниям и по эксплуатационным испытаниям и проверкам. Раздел 6 дает рекомендации и указания по учету тяжелых аварий на стадии проектирования.

2. СИСТЕМЫ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ И ИХ ФУНКЦИИ БЕЗОПАСНОСТИ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. Системы защитной оболочки следует проектировать таким образом, чтобы обеспечивалось или облегчалось выполнение следующих функций безопасности:

(a) локализация радиоактивных веществ в эксплуатационных состояниях и в аварийных условиях;
(b) защита станции от внешних природных явлений и вызываемых деятельностью человека событий;
(c) радиационная защита в эксплуатационных состояниях и в аварийных условиях.

2.2. Функции безопасности систем защитной оболочки следует четко определять для эксплуатационных состояний и аварийных условий, и их

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

следует использовать в качестве основы при проектировании систем и при проверке их характеристик.

ЛОКАЛИЗАЦИЯ РАДИОАКТИВНОГО МАТЕРИАЛА

2.3. Главное функциональное требование по системе защитной оболочки в целом вытекает из ее основной функции безопасности: служить оболочкой, таким образом изолируя от окружающей среды те конструкции, системы и элементы, чей отказ мог бы привести к неприемлемому выбросу радионуклидов. Поэтому следует предусматривать, чтобы оболочка заключала в себе все те элементы границы давления теплоносителя реактора или элементы, соединенные с границей давления теплоносителя реактора, которые не могут быть изолированы от активной зоны реактора в случае аварии.

2.4. Конструкционная целостность защитной оболочки и непревышение заданной максимальной скорости утечки должны быть обеспечены в любых условиях, сопутствующих проектным авариям, а скорость утечки не должна быть превышена в любых условиях, сопутствующих тяжелым авариям, учитываемым при проектировании. Это должно достигаться посредством изоляции защитной оболочки, поглощением энергии в защитной оболочке и соответствующего строительного проектирования (ссылка [1], пункты 6.43-6.67). Характеристики системы обращения с радионуклидами следует задавать таким образом, чтобы обеспечивалось сохранение выбросов радионуклидов из пределов защитной оболочки на уровнях ниже разрешенных пределов.

2.5. Следует обеспечивать, чтобы в эксплуатационных состояниях системы защитной оболочки предотвращали или ограничивали выброс радиоактивных веществ, которые образовались в активной зоне реактора или за ее пределами в результате нейтронного или гамма-излучения или тех, которые могут просочиться от систем, размещенных в пределах границ защитной оболочки. Для данной цели могут потребоваться специальные системы, такие, как вентиляционная, требования к которой кратко изложены в [1] (пункты 6.93–6.95). Кроме того, следует предусмотреть, чтобы в случае необходимости системы защитной оболочки позволяли понижать температуру и давление внутри защитной оболочки.

2.6. В эксплуатационных состояниях большинство систем защитной оболочки находится в резервном режиме. При останове станции защитная оболочка может быть преднамеренно вскрыта (например, могут быть открыты

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

воздушные шлюзы, люки доступа к оборудованию или запасные проходки) для обеспечения доступа при проведении технического обслуживания систем и элементов или для обеспечения необходимого рабочего пространства.

2.7. Конструктивно граница защитной оболочки обычно представляет собой здание из стали или железобетона. Защитная оболочка должна быть спроектирована так, чтобы выдерживать давления, приложенные тепловые и механические нагрузки, а также условия окружающей среды, которые являются результатом событий, включенных в проектные основы ([1], пункт 6.45).

2.8. Устройства для изоляции защитной оболочки включают в себя клапаны и другие приспособления, которые требуются для герметизации или изолирования проходок в защитной оболочке, а также соответствующие электрические, механические, контрольно-измерительные и управляющие системы. Конструкцию следует выполнять так, чтобы обеспечивалась возможность независимого и надежного закрытия этих клапанов и других устройств при необходимости изолировать защитную оболочку.

2.9. Устройства для поглощения энергии[1] следует проектировать таким образом, чтобы они ограничивали внутреннее давление, температуру и механические нагрузки на защитную оболочку и внутри нее величинами ниже проектных значений, предусмотренных для систем защитной оболочки и для оборудования, находящегося внутри защитной оболочки. Примерами устройств для поглощения энергии являются следующие устройства: бассейны понижения давления, ледовые конденсаторы, системы вакуумных камер снижения давления, конструкционные теплоотводы, свободный объем защитной оболочки, способность к отводу тепла через стенку герметичной оболочки, спринклерные системы, воздушные холодильники, рециркуляция воды в водосборнике, барботажный бассейн и системы охлаждения.

2.10. Следует предусматривать, чтобы устройства для обращения с радионуклидами работали совместно с устройствами для поглощения энергии, контроля горючих газов и системой изоляции защитной оболочки для ограничения радиологических последствий постулируемых аварийных условий. Типичными устройствами для обращения с радионуклидами являются система двойной защитной оболочки, барботажные бассейны, спринклерные

[1] Устройства для поглощения энергии выполняют следующие функции: компенсация давления, понижение давления и температуры атмосферы защитной оболочки и удаления тепловой энергии из защитной оболочки.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

системы и угольные фильтры, и высокоэффективные сухие аэрозольные фильтры (HEPA).

2.11. Устройства для контроля горючих газов следует проектировать таким образом, чтобы они сводили к нулю или снижали концентрацию водорода, который может образовываться в результате радиолиза воды, водометаллических реакций в активной зоне реактора или, в случае тяжелых аварий - в результате взаимодействия расплава обломков разрушенной активной зоны с бетоном. К числу устройств для контроля горючих газов относятся рекомбинаторы водорода (т.е. пассивные рекомбинаторы или активные дожигатели водорода), большие объемы защитных оболочек для того, чтобы снизить и ограничивать концентрацию водорода, устройства для перемешивания атмосферы в защитной оболочке, устройства для создания инертной атмосферы и устройства, обеспечивающие контроль любого горения водорода.

2.12. Оценку устройств для поглощения энергии, контроля горючих газов и обращения с радионуклидами следует проводить на основе консервативных показателей в соответствии с их значимостью для функций безопасности.

2.13. Для систем защитной оболочки используется несколько различных конструкций. В Приложении I дана информация общего характера о наиболее распространенных конструкциях защитных оболочек.

2.14. В условиях тяжелой аварии сильное нагружение защитной оболочки может поставить под угрозу ее структурную целостность. Следует либо надлежащим образом учитывать при проектировании защитной оболочки воздействие высоких нагрузок ([1], раздел 6), либо предусматривать устройства для предотвращения или ограничения таких нагрузок (см. раздел 6 настоящего руководства по безопасности в части подробного учета тяжелых аварий при проектировании).

ЗАЩИТА ОТ ВНЕШНИХ СОБЫТИЙ

2.15. Конструкции защитной оболочки и ее системы следует проектировать таким образом, чтобы все элементы границы давления теплоносителя реактора, которые не могут быть безопасно изолированы от активной зоны реактора, а также системы безопасности, расположенные внутри защитной оболочки, которые необходимы для удержания активной зоны в безопасном состоянии,

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

были защищены от воздействия внешних событий, учтенных в проектных основах.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА

2.16. В эксплуатационных состояниях и в аварийных условиях конструкции защитной оболочки вносят свой вклад в защиту персонала станции и населения от чрезмерного облучения в результате прямого излучения от радиоактивного материала, содержащегося в пределах защитной оболочки и ее системах. Пределы доз и граничные дозы, а также применение принципа "разумно достижимого низкого уровня" (для оптимизации радиационной защиты) следует включать в проектные основы сооружений [1, 9, 10]. Состав и толщину бетона, стали и других конструкционных материалов следует выбирать таким образом, чтобы пределы доз и граничные дозы для операторов и населения не были превышены в эксплуатационных состояниях или в аварийных условиях, которые учитываются при проектировании.

3. ОБЩИЕ ПРОЕКТНЫЕ ОСНОВЫ СИСТЕМ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЕКТНЫХ ОСНОВ

3.1. Проектные основы систем защитной оболочки следует определять в основном на базе результатов анализа соответствующих постулированных исходных событий, которые определены в Приложении I документа [1]. Подлежащие учету постулированные исходные события включают в себя события внутреннего и внешнего происхождения, которые могут потребовать от защитной оболочки выполнения ее проектных функций, и такие события, которые могут поставить под угрозу способность защитной оболочки выполнять ее проектные функции безопасности.

3.2. Соответствующие элементы проектных основ для нормальной эксплуатации (работа на мощности, перегрузка топлива и останов) следует определять, исходя из приведенных ниже требований:

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

— локализация радиоактивных веществ, образовавшихся в результате нейтронного или гамма-излучения;
— удаление выделяемого тепла;
— обеспечение при необходимости входа-выхода персонала и ввоза-вывоза материалов;
— выполнение испытаний давлением защитной оболочки и испытания ее на герметичность;
— способствование обеспечению биологической защиты.

Внутренние события

3.3. Внутренние события, которые следует учитывать при проектировании систем защитной оболочки, – это те события, которые являются результатом неисправностей, происходящих на станции, и которые могут потребовать выполнения защитной оболочкой ее функций или которые могут поставить под угрозу выполнение ею функций безопасности. Они подразделяются, по существу, на пять категорий:

(1) разрушение энергонапряженных систем, расположенных в защитной оболочке: следует предусмотреть, чтобы защитная оболочка выдерживала высокие давления и температуры, а также биение трубопроводов и удар струи жидкости;
(2) разрушение систем или элементов, содержащих радиоактивный материал, находящийся в защитной оболочке: следует предусмотреть, чтобы защитная оболочка обеспечивала локализацию радиоактивных материалов;
(3) переходные процессы в системах, приводящие к возникновению характерных предельных нагрузок (например, давления, температуры и динамических нагрузок) на системах защитной оболочки: следует предусмотреть, чтобы защитная оболочка выдерживала эти нагрузки;
(4) возникновение обходных путей в защитной оболочке, такие, как аварии с потерей теплоносителя (АПТ) во взаимосвязанных системах или разрыв трубок парогенератора: следует предусмотреть соответствующие изолирующие устройства;
(5) внутренние риски: следует проверить, что внутренние риски не нанесут ущерба функциям защитной оболочки.

3.4. Типичными внутренними событиями, которые следует учитывать при проектировании систем защитной оболочки, являются:

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

— АПТ;
— различные повреждения паропроводов;
— повреждение трубопровода питательной воды;
— разрыв труб парогенератора в корпусном водо-водяном реакторе;
— случайное открытие предохранительного клапана компенсатора объема или предохранительного клапана в корпусном водо-водяном реакторе или предохранительного клапана в реакторе с кипящей водой;
— колебания конденсации и резкое изменение параметров жидкостно-газовых смесей сжиженного газа при продувке в реакторах с кипящей водой;
— разрывы трубопроводов, соединенных с границей давления теплоносителя реактора, внутри или снаружи защитной оболочки;
— утечка или неисправность в системе, заключающей в себе радиоактивную жидкость или газ в пределах защитной оболочки;
— аварии при обращения с топливом в защитной оболочке;
— внутренние летящие предметы;
— внутренние пожары;
— внутреннее затопление.

Внешние события

3.5. Внешние события, которые следует учитывать при проектировании систем защитной оболочки, – это события, являющиеся результатом деятельности человека в прилегающей к станции местности, а также опасные природные явления, которые могут поставить под угрозу целостность и функции защитной оболочки. Все события, которые подлежат учету при проектировании, следует четко определить и задокументировать на основе исторических и физических данных или, если такие данные отсутствуют, на основе здравого инженерно-технического суждения.

3.6. Все значимые внешние события следует подвергнуть оценке для того, чтобы определить их возможное воздействие, чтобы определить те системы безопасности, которые нужны для предотвращения или смягчения последствий, и чтобы оказать помощь в проектировании систем, которые бы выдерживали ожидаемые воздействия.

3.7. Типичные внешние события, которые следует учитывать при проектировании систем защитной оболочки, приведены в таблице 1. Дополнительные руководящие материалы содержатся в [4].

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

ТАБЛИЦА 1. ТИПИЧНЫЕ ВНЕШНИЕ СОБЫТИЯ, УЧИТЫВАЕМЫЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ

Антропогенные опасности	Опасные природные явления
Падение летательного аппарата Взрыв контейнера с горючей жидкостью (например, при транспортной или промышленной аварии, при аварии на трубопроводе или дорожно-транспортном происшествии)	Землетрясение Ураган и/или тропический циклон Наводнение Торнадо Ветер Внешнее воздействие летящего предмета Снежная буря Цунами (приливная волна) Сейша (колебание уровня воды в озере или ином водном резервуаре) Вулканическое извержение Экстремальные температуры (высокие и низкие)

Проектные аварии

3.8. Результаты анализа проектных аварий следует использовать при определении критических расчетных параметров.

3.9. Проектные аварии применительно к системам защитной оболочки – это набор возможных последовательностей событий, выбранных таким образом, чтобы оценить целостность защитной оболочки и для того, чтобы проверить, что радиологические последствия для персонала, населения и окружающей среды оставались ниже допустимых пределов. В качестве проектных аварий применительно к проектированию систем защитной оболочки следует выбирать такие аварии, которые потенциально могут вызвать чрезмерные механические нагрузки на конструкцию защитной оболочки и/или на системы защитной оболочки или поставить под угрозу способность самой защитной оболочки и/или ее систем ограничивать рассеяние радиоактивных веществ в окружающую среду.

3.10. Все оценки по проектным авариям следует выполнять с использованием соразмерно консервативного подхода. При консервативном подходе комбинация допущений, машинных кодов и методов, выбранных для оценки последствий постулированных исходных событий, следует обеспечивать разумную уверенность в том, что имеющийся запас достаточен для того, чтобы охватить

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

все возможные результаты. Предположение о единичном отказе[2] в системе безопасности следует использовать в качестве части консервативного подхода, как указано в [1], пункты 5.34–5.39. Степень консерватизма следует задавать с осторожностью, поскольку:

— для одного и того же события подход, считающийся консервативным для проектирования какой-либо отдельной системы, может оказаться неконсервативным применительно к проектированию другой системы;
— использование допущений, которые являются излишне консервативными, может привести к наложению таких ограничений на элементы, которые могут сделать их ненадежными.

3.11. При консервативном подходе следует учитывать изменения, появляющиеся в результате старения конструкций, систем и элементов.

3.12. Все оценки по проектным авариям следует надлежащим образом документировать с указанием оцененных параметров, допущений, которые являются важными для оценки параметров, и компьютерных программ и критериев приемлемости, которые использовались.

3.13. Следует предусматривать, чтобы эти оценки охватывали приведенные ниже показатели, но не обязательно ограничивались ими:

— масса и энергия выбросов внутри защитной оболочки как функция времени;
— теплоперенос к конструкциям защитной оболочки, к компонентам защитной оболочки и от них;
— статические и динамические механические нагрузки на конструкцию защитной оболочки и ее отсеки;
— выбросы радионуклидов внутри защитной оболочки;
— перенос радионуклидов в окружающую среду;
— скорость образования горючих газов.

3.14. Промежутки времени, используемые в этих оценках, следует выбирать достаточными для того, чтобы показать, что анализ пределов безопасности был

[2] Единичный отказ – это отказ, который приводит к потере способности элемента выполнить предписанную функцию(и) безопасности, и любой последующий отказ(ы), который(е) являются результатом этого.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

выполнен и что последующие изменения физических параметров известны и управляемы.

3.15. Проектные параметры конструкций защитной оболочки (например, проектное давление и свободный объем), которые должны определяться на ранних стадиях проектирования, еще до выполнения подробных оценок безопасности, следует задавать со значительными запасами[3].

3.16. Механическое сопротивление конструкции защитной оболочки следует оценивать с учетом ожидаемого диапазона событий и их ожидаемой вероятности в течение жизненного цикла станции, включая влияние периодических испытаний.

3.17. Следует рассматривать три типа запасов:

— запасы безопасности, в которых должны учитываться физические неопределенности и неизвестные эффекты;
— проектные запасы, в которых должны учитываться неопределенности в процессе проектирования (например, допуски) и процессе старения, включая влияние долгосрочного облучения;
— рабочие запасы, которые вводятся, чтобы позволить гибко эксплуатировать станцию, а также, чтобы учесть ошибки при эксплуатации.

3.18. Компьютерные программы, которые используются для выполнения оценки проектных аварий, следует документировать, подвергать проверке их пригодности, и, в случае разработки новых компьютерных программ, разрабатывать с использованием признанных стандартов обеспечения качества. Следует обеспечивать, чтобы пользователи компьютерных программ были квалифицированными и обученными в отношении использования программ и их ограничений, а также знали допущения, принятые при проектировании и при выполнении анализа безопасности.

---

[3] Примеры проектных запасов, применяемые в некоторых государствах:

10–25% – между проектным давлением в защитной оболочке и пиковым давлением при аварии;

15–40% на стадии проектирования для перепада давления на внутренних стенах (этот запас может быть уменьшен при наличии технической документации, поскольку документация дает возможность определить возможное увеличение свободных сечений отверстий между отсеками).

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

3.19. Компьютерные программы не следует использовать за пределами их определенной и документально оформленной области пригодности.

3.20. При рассмотрении системы защитной оболочки с двойными стенками следует оценивать возможность разрывов энергонапряженных трубопроводов в пространстве между стенками. Когда возможность таких разрывов не может быть устранена проектными решениями, следует обеспечить, чтобы внутренние и наружные оболочки, а также все системы, выполняющие функции безопасности в кольцевом пространстве между стенками, выдерживали соответствующие давления и тепловые нагрузки; в противном случае следует устанавливать проверенные защитные устройства (такие, как защитные трубы).

Тяжелые аварии

3.21. Множественные отказы в резервированных системах безопасности могут привести к полной потере их работоспособности, потенциально приводящей к условиям запроектной аварии и к значительному разрушению активной зоны реактора (тяжелая авария), угрожая даже целостности защитной оболочки. Хотя последовательности развития аварий с подобными характеристиками имеют очень малую вероятность, следует произвести их оценку с тем, чтобы определить необходимость их учета при проектировании защитной оболочки. Следует обеспечить, чтобы процесс отбора таких последовательностей был основан на вероятностных оценках, инженерно-техническом суждении или детерминистических основаниях, как это объясняется в [1], пункт 5.31. Следует предусмотреть, чтобы процесс отбора был хорошо документирован и убедительно свидетельствовал о том, что те последовательности, которые были отобраны, не создают излишние риски для персонала или населения (см. раздел 6 "Учет тяжелых аварий при проектировании").

Проектные пределы

3.22. Работу систем защитной оболочки следует оценивать на основании четко определенного и утвержденного перечня проектных пределов и критериев приемлемости. "Четко определенный и утвержденный" обычно означает документ, который либо принят регулирующими органами в государствах, имеющих современные ядерно-энергетические программы, либо предложен международными организациями.

3.23. Для того чтобы обеспечить выполнение защитной оболочкой общих функций безопасности, следует задать ряд первичных проектных пределов для ее систем. Эти первичные проектные пределы обычно выражаются как:

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

— общая скорость утечки из защитной оболочки при проектном давлении;
— прямая байпасная утечка (для защитной оболочки с двумя стенками);
— пределы выбросов радиоактивных веществ, пределов дозы или граничных доз, определенных для эксплуатационных состояний, проектных аварий и тяжелых аварий, применительно к функции локализации радиоактивного материала;
— пределы дозы или мощности дозы и граничные дозы для персонала, определенные для функции биологической защиты.

3.24. Кроме того, для каждой системы защитной оболочки, а также для каждой конструкции и элемента в каждой системе следует определить проектные пределы. Пределы следует применять в отношении эксплуатационных параметров (например, максимальной температуры охладителя и минимальной скорости потока для воздушных холодильников), оценочных показателей (например, максимального времени закрытия для отсечных клапанов и величины утечки воздуха через проходку) и мер готовности (например, максимальных времен простоя и минимальных количеств некоторых единиц оборудования, которые должны быть в готовности).

Своды правил и нормы

3.25. При проектировании сооружений и систем защитной оболочки требуется использовать общепринятые своды положений и нормы ([1], пункт 5.21). Следует обеспечивать, чтобы отобранные своды положений и нормы:

— были применимы к конкретной концепции конструкции;
— образовывали комплексный и всесторонний набор норм и критериев;
— как правило, не использовали информацию и знания, не доступные в том государстве, где находится АЭС, за исключением тех случаев, когда такие данные могут быть проанализированы и будет показано, что они применимы к конкретной конструкции и что использование таких данных приведет к повышению уровня безопасности проекта защитной оболочки.

3.26. Своды положений и нормы разработаны различными национальными и международными организациями и охватывают такие области, как:

— материалы;
— технологии (например, сварка);
— строительные конструкции;
— сосуды под давлением и трубопроводы;
— контрольно-измерительные приборы и системы управления;

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

— оценка воздействия на окружающую среду, оценка сейсмичности;
— пусковые и эксплуатационные проверки и испытания;
— обеспечение качества;
— противопожарная защита.

Использование вероятностной оценки безопасности при проектировании

3.27. Вероятностную оценку безопасности следует выполнять на ранних стадиях проектирования. Вероятностную оценку безопасности следует использовать для определения частоты повреждения активной зоны (вероятностная оценка безопасности уровня 1), а также для определения уровней повреждения станции и их частоты (часто называемого "вероятностной оценкой безопасности уровня 1 +"). Эти данные вероятностной оценки безопасности важны, поскольку они помогают определить основные угрозы целостности защитной оболочки. Подход к выполнению вероятностной оценки безопасности описан в [1], пункт 5.73.

3.28. Для оценки конструкции систем защитной оболочки, особенно с точки зрения смягчения последствий тяжелой аварии, вероятностную оценку безопасности следует расширить до уровня 2, при этом следует определить, достаточны ли запланированные меры для смягчения последствий тяжелых аварий. В ходе выполнения вероятностной оценки безопасности уровня 2 следует рассмотреть вопрос о том, достаточно ли надежна защитная оболочка и обеспечивают ли системы смягчения последствий, такие, как системы контроля водорода и охлаждения расплава активной зоны, уровень защиты, достаточный для предотвращения большого выброса радиоактивного материала в окружающую среду (см. раздел 6 "Учет тяжелых аварий при проектировании").

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ РЕАКТОРА ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СОСТОЯНИЙ И ДЛЯ ПРОЕКТНЫХ АВАРИЙ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Характеристики систем защитной оболочки

4.1. Эксплуатационные характеристики систем защитной оболочки следует устанавливать в соответствии с функциями, выполняемыми в эксплуата-

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

ционных состояниях или в условиях проектной аварии, учтенных при проектировании станции. В частности, характеристики с точки зрения работы конструкции и герметичности следует задавать на весь период аварии, включая восстановление станции и создание безопасных остановленных состояний.

4.2. На основе эксплуатационных характеристик следует посредством анализа, выполненного для каждого постулированного исходного события и каждого набора эксплуатационных условий станции, определить набор проектных параметров для каждой системы защитной оболочки. Следует обеспечивать, чтобы основой проекта для каждой системы защитной оболочки стал наиболее жесткий набор этих параметров. В число таких проектных параметров входят коэффициенты теплопередачи, времена срабатывания средств безопасности, и времена закрытия и открытия клапанов.

4.3. Системы защитной оболочки следует проектировать таким образом, чтобы их системы КИП и управления и электрические, конструкционные и механические компоненты были совместимы друг с другом и с другими узлами, важными для безопасности.

4.4. Следует обратить внимание на аварии, инициированные в состояниях останова (например, когда защитная оболочка разгерметизирована и системы отключены для проведения технического обслуживания). В таких условиях конфигурация систем защитной оболочки может отличаться от их конфигурации при работе на мощности, поэтому следует обратить внимание на уровни резервирования и специфические виды отказов систем и оборудования. В некоторых случаях защитная оболочка может разгерметизироваться в связи с тем, что какой-либо люк или гермошлюз для прохода персонала должны оставаться открытыми в течение некоторого времени. Следует обеспечивать, чтобы время, необходимое для закрытия люков или гермошлюза для прохода персонала, соответствовало динамике постулированных для этих условий аварий.

Компоновка и конфигурация систем защитной оболочки

4.5. Компоновку защитной оболочки следует определять с учетом ряда факторов, которые рассматриваются в настоящем руководстве по безопасности и которые суммированы ниже:

— оптимизация расположения всего первого контура с уделением особого внимания улучшению охлаждения активной зоны посредством естественной циркуляции;

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

— введение разделителей между участками систем безопасности;
— обеспечение необходимого пространства для доступа персонала для проведения измерений, испытаний, контроля, технического обслуживания и перемещения оборудования;
— размещение оборудования и конструкций для оптимизации биологической защиты;
— размещение проходок в таких местах стенки защитной оболочки, где обеспечен доступ для проведения проверок и испытаний;
— обеспечение достаточного одиночного свободного объема в верхней части защитной оболочки для повышения эффективности спринклерной системы (если она имеется);
— обеспечение достаточного свободного объема и достаточных сечений для прохода охлаждающего потока для защитных оболочек с пассивным охлаждением;
— ограничение количества отсеков объема защитной оболочки с целью минимизации перепадов давления в случае АПТ и улучшения перемешивания водорода для предотвращения его локального накопления.

4.6. Нижнюю часть защитной оболочки следует проектировать таким образом, чтобы облегчались сбор и идентификация протечек, а также отвод воды в водосборник в случае аварии. Насколько это возможно, следует предусмотреть, чтобы кольцевой зазор между внутренней и внешней стенками защитной оболочки образовывал единый объем с целью максимального перемешивания и разбавления любого выброса радиоактивных веществ из первичной защитной оболочки в случае аварии.

Надежность систем защитной оболочки

4.7. Системы защитной оболочки следует проектировать таким образом, чтобы обеспечивалась высокая функциональная надежность, соответствующая важности обеспечиваемых функций безопасности.

4.8. Следует обеспечивать, чтобы функции систем защитной оболочки осуществлялись по запросу и оставались задействованными в течение длительного времени после постулированного инициирующего события до тех пор, пока необходимость в специфических функциях безопасности не пропадет. Следует выполнять периодические испытания систем для подтверждения того, что допущения, сделанные при проектировании, включая вероятностную оценку безопасности (если это необходимо), об уровнях надежности и характеристик, имеют обоснование на весь срок эксплуатации станции.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

4.9. Критерий единичного отказа[4] необходимо применять в отношении каждой включенной в проект группы безопасности ([1], пункт 5.34). Системы защитной оболочки, которые в ходе проектной аварии и после нее выполняют функции безопасности, поглощая энергию в защитной оболочке, обеспечивая обращение с радионуклидами, изоляцию защитной оболочки и контроль водорода, следует проектировать с соблюдением критерия единичного отказа.

4.10. Следует обеспечивать достаточно высокое качество конструкции защитной оболочки и пассивных границ жидких сред в оболочке (например, посредством задания строгих проектных требований, надлежащего выбора ограничивающих постулированных исходных событий, консервативных проектных запасов, выполнения строительных работ в соответствии с высокими стандартами качества и всестороннего анализа и проверки характеристик) с тем, чтобы не было необходимости постулировать отказ самой конструкции защитной оболочки и отказ пассивных границ жидких сред в оболочке.

4.11. Следует в максимально возможной степени обеспечивать независимость систем защитной оболочки от технологических систем или других систем безопасности. В частности, следует предусмотреть, чтобы отказы других систем, которые привели к аварии, не препятствовали выполнению защитной оболочкой требующихся от нее функций безопасности в ходе аварии.

4.12. Следует рассматривать возможность использования пассивных систем и внутренне присущих свойств безопасности, которые в некоторых случаях могут быть более пригодными, чем активные системы и элементы.

Аттестация систем защитной оболочки на воздействие окружающей среды

4.13. Следует обеспечивать, чтобы конструкции, системы и элементы систем защитной оболочки были аттестованы на выполнение своих функций безопасности во всем диапазоне окружающих условий, которые могут преобладать в ходе проектной аварии и после нее; в противном случае их следует надлежащим образом защитить от воздействия этих окружающих условий.

---

[4] Критерий единичного отказа – критерий (или требование) применительно к системе выражается в том, что система должна сохранять способность выполнять свою функцию при наличии любого единичного отказа. Единичный отказ – это отказ, который приводит к потере способности элемента выполнить предписанную функцию(и) безопасности, а также любой вызванный этим последующий(ие).

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

4.14. Элементы систем защитной оболочки, в отношении которых можно продемонстрировать, что условия проектной аварии на них не влияют, в аттестации на воздействие окружающей среды не нуждаются.

4.15. Условия окружающей среды и сейсмические условия, которые могут преобладать в ходе проектной аварии и после нее, старение конструкций, систем и элементов в течение всего цикла жизни станции, синергетические эффекты и запасы безопасности – все эти факторы следует учитывать в ходе проведения аттестации систем защитной оболочки на воздействие окружающей среды.

4.16. Аттестацию систем защитной оболочки на воздействие окружающей среды следует выполнять путем проведения испытаний, анализа и использования экспертных оценок, или применения этих методов в комбинации.

4.17. Следует предусмотреть, чтобы аттестация систем защитной оболочки на воздействие окружающей среды включала рассмотрение таких факторов, как температура, давление, влажность, уровни излучения, локальное накопление радиоактивных аэрозолей, вибрации, обрызгивание водой, паровой удар, затопление и контакт с химическими продуктами. Следует также учитывать запасы и синергетические эффекты (при которых ущерб, вызванный наложением или комбинацией эффектов, может превысить суммарный ущерб, вызванный эффектами по отдельности). В тех случаях когда возможны синергетические эффекты, материалы следует аттестовать на воздействие самого тяжелого эффекта или самой тяжелой комбинации или последовательности эффектов.

4.18. Неметаллические материалы, такие, как эластомерные уплотнения и бетон, следует подвергать аттестации на старение на основе испытаний образцов на старение, опыта эксплуатации в ядерной или неядерной промышленности или на основе опубликованных результатов испытаний для тех же самых или аналогичных материалов в тех же самых условиях аттестации. При аттестации следует учитывать все механизмы старения, которые являются важными и значимыми в ожидаемых условиях. При наличии надлежащего обоснования можно применять методы ускоренных испытаний на старение и аттестации. То же самое справедливо для возможности проведения испытаний воздействия отдельных эффектов, а не их наложения.

4.19. Для элементов, подверженных воздействию различных механизмов старения, следует установить срок службы и при необходимости частоту

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

замены деталей. При аттестации таких элементов образцы следует подвергнуть старению, с тем чтобы смоделировать окончание их расчетных сроков службы, до проведения испытаний в условиях проектной аварии.

4.20. Элементы, которые использовались для аттестационных испытаний, как правило, не следует использовать для целей строительства, если нельзя показать, что условия и способы проверки сами по себе не приведут к неприемлемому ухудшению показателей безопасности.

4.21. Данные по аттестации и ее результаты следует документировать как часть проектной документации.

Надежность эксплуатации систем защитной оболочки и профессионального облучения

4.22. При проектировании и компоновке систем защитной оболочки следует предусмотреть достаточное пространство и защиту от облучения, с тем чтобы обеспечить возможность проведения технического обслуживания и эксплуатации без чрезмерного радиационного облучения персонала. Точку доступа к защитной оболочке следует располагать в контролируемой зоне, причем следует предусмотреть, что разрешение на доступ выдается лицом, ответственным за радиационную безопасность.

4.23. Следует принимать во внимание потенциальное облучение, связанное с операциями, которые запланированы к проведению после аварии, или с операциями, которые могут оказаться необходимыми после выполнения аварийного алгоритма, а также облучение, связанное с восстановительными действиями после аварии. Следует включить в оценки рассмотрение путей доступа, таких, как возможно открытые двери и люки. Если дозы такого облучения превышают соответствующие пределы доз и граничные дозы, следует рассмотреть возможность дополнительного экранирования или даже изменения расположения элементов.

4.24. Следует предусмотреть, чтобы факторы, связанные с проведением технического обслуживания, учитываемые при проектировании защитной оболочки, включали обеспечение достаточного рабочего пространства, экранирования, освещения, подачи воздуха для дыхания, устройство помостов для проведения работ и обеспечения доступа, обеспечение и контроль надлежащих условий окружающей среды, маркировку оборудования; размещение предупредительных знаков, обеспечение визуальной и звуковой аварийной сигнализации; а также обеспечение средств связи.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

Доступ в защитную оболочку

4.25. Для всех эксплуатационных состояний следует предусматривать возможность доступа как к самой защитной оболочке, так и к находящимся в ней системам. Возможность обеспечения того, что дозы облучения персонала останутся в допустимых пределах, определяет, возможно ли разрешить доступ в первичную и/или вторичную защитную оболочку (если это применимо) при работе на мощности или для того, чтобы разрешить такой доступ, требуется останов блока.

4.26. Если предусмотрен доступ персонала в первичную или вторичную защитные оболочки при работе на мощности для незапланированного или даже для планового технического обслуживания, следует предусмотреть меры обеспечения необходимой радиологической защиты персонала и соблюдения техники безопасности. Следует обеспечить, чтобы это положение включало в себя применение принципа облучения на разумно достижимом низком уровне, наличие необходимых систем связи и аварийной сигнализации, а также надлежащего контроля атмосферы в защитной оболочке, особенно в случае защитных оболочек с аварийной подачей инертного газа или защитных оболочек, работающих под давлением ниже атмосферного. Следует предусмотреть как минимум два аварийных выхода из защитной оболочки. Кроме того, следует учитывать требования физической безопасности в части контроля доступа в защитную оболочку.

Классификация безопасности

4.27. Процесс определения и классификации конструкций, систем и элементов, важных для безопасности ([1], пункты 5.1–5.3), направляет внимание разработчиков, изготовителей и эксплуатирующего персонала на те особенности, которые являются важными с точки зрения обеспечения безопасности станции, и к привязке специфических проектных требований (например, критерий единичного отказа и соответствующие правила и нормы) к каждой конструкции, системе и элементу.

4.28. Несколько систем классификации по безопасности механического оборудования, работающего под давлением, используют три класса ядерной безопасности и один неядерный класс безопасности. В наивысший класс безопасности обычно входят только элементы границы давления теплоносителя реактора.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

4.29. Граница давления защитной оболочки, включая проходки и отсечные клапаны, а также работающие под давлением узлы первоочередных систем, которые используются для поглощения энергии и обращения с радионуклидами в первичной защитной оболочке в случае проектной аварии, обычно составляют второй класс безопасности.

4.30. Работающие под давлением узлы систем поглощения энергии и обращения с радионуклидами во вторичной защитной оболочке в случае проектной аварии, а также узлы систем контроля горючих газов в случае проектной аварии часто относят к третьему классу безопасности.

4.31. Поскольку безопасность станции в случае проектных аварий зависит от работы систем защитной оболочки, то эти системы являются системами безопасности, и их следует классифицировать на первый класс по сейсмостойкости, т.е. на наивысший уровень сейсмостойкости. Электрооборудование систем защитной оболочки, включая оборудование системы аварийного энергоснабжения, следует относить к классу электрооборудования 1Е, наивысшему уровню классификации по безопасности для электрического контрольно-измерительного оборудования и оборудования систем управления.

Действия оператора

4.32. В случае когда системы защитной оболочки подвергаются воздействию аварийных условий, следует предусмотреть определенную "отсрочку"[5], в течение которой оператор может не предпринимать каких-либо действий. Для того чтобы произвести какое-либо вмешательство вручную, оператору следует иметь достаточное время для оценки условий на станции перед тем, как предпринять какое-либо действие. Станцию следует проектировать таким образом, чтобы не препятствовать оператору начинать осуществление соответствующих действий в ответ на ясную и недвусмысленную информацию.

Характеристики вторичной защитной оболочки

4.33. Следует предусматривать, чтобы в случае аварии или неисправности вентиляционной системы вторичная защитная оболочка выдерживала

[5] Как правило, длительность отсрочки составляет от 20 мин. до 12 ч. Отсрочка достигается за счет автоматизации ввода систем в действие, использования пассивных систем или материалов с внутренне присущими соответствующими свойствами (такими, как высокая теплоемкость конструкции защитной оболочки), или любым сочетанием их.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

возможное повышение давления в объеме, заключенном между первичной и вторичной защитными оболочками, а также выдерживала внешние нагрузки самостоятельно или совместно с первичной защитной оболочкой.

4.34. С целью обеспечения того, что давление в объеме, заключенном между первичной и вторичной защитными оболочками, поддерживается на уровне ниже атмосферного, следует предусмотреть, чтобы вторичная защитная оболочка и ее вытяжная вентиляционная система сохраняли работоспособность в случае отказа внешнего электроснабжения.

Совместное использование частей системы защитной оболочки разными энергоблоками

4.35. Документ "Безопасность атомных электростанций: проектирование ([1], пункт 5.57)" ограничивает совместное использование конструкций, систем и элементов в многоблочных станциях исключительными случаями. Для таких исключительных случаев совместного использования конструкций, систем и элементов между энергоблоками применимы все требования по безопасности ко всем реакторам, которые должны выполняться во всех нормальных условиях эксплуатации и в аварийных условиях.

4.36. При проектировании следует определить и учесть внешние события, такие, как землетрясение, которые могут одновременно оказать воздействие на системы, обслуживающие все энергоблоки, или такие события, как потеря внешнего электроснабжения, которые могут привести к отказу систем, общих для этих энергоблоков.

4.37. Следует всегда обеспечивать соблюдение критериев безопасности по резервированию, независимости и разделению систем безопасности, причем любые исключения следует обосновывать.

4.38. Если многоблочная станция спроектирована с совместно используемой или частично совместно используемой системой защитной оболочки, то в случае аварии на одном блоке, приводящей к задействованию функции защитной оболочки, соответствующие процедуры аварийного реагирования следует применять на всех энергоблоках.

Эффекты старения

4.39. Защитная оболочка может быть подвержена воздействию ряда явлений старения, таких, как коррозия металлических элементов, ползучесть

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

предварительно напряженной арматуры и уменьшение предварительного напряжения (в предварительно напряженных защитных оболочках), снижение эластичности в эластомерных уплотнениях и усадка и растрескивание бетона. Вредные эффекты старения трудно поддаются определению в течение жизненного цикла станции. В проекте все механизмы старения должны быть определены и учтены. Следует обеспечивать контроль старения защитной оболочки, где возможно – путем проведения испытаний и проверок элементов и путем периодической замены элементов, подверженных ухудшению характеристик в результате старения ([1], пункт 5.47).

Снятие с эксплуатации

4.40. Как установлено в документе [1], пункт 5.68, необходимо обращать внимание на те особенности, которые будут способствовать окончательному снятию станции с эксплуатации (такие, как выбор строительных материалов с целью уменьшения наведенной радиации в ходе эксплуатации, как обеспечение доступа и хранилищ отходов). В целом, меры, облегчающие снятие с эксплуатации, также улучшают эксплуатацию станций и техническое обслуживание, поэтому на стадии проектирования их следует тщательно оценивать ([1], пункт 5.68). Руководящие материалы по этим аспектам содержатся в [11].

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ СИСТЕМ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ

Процесс проектирования

4.41. Следует обеспечивать, чтобы конструкции защитной оболочки и ее устройства (проходки, системы изоляции, двери и люки) предотвращали неприемлемые выбросы радиоактивного материала в случае аварии. С этой целью следует обеспечивать их структурную целостность (т.е. следует обеспечивать конструкционные функции защиты и несения нагрузки); также следует обеспечить выполнение критериев герметичности ([1], пункты 6.43–6.67).

4.42. В стальных защитных оболочках функции несения нагрузки и обеспечения герметичности в целом выполняются стальной конструкцией. Металлическую конструкцию следует защищать от воздействия летящих предметов, образовавшихся внутри и снаружи защитной оболочки в результате внутренних и внешних событий, которые отрицательно воздействуют на станцию.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

4.43. Следует установить все индивидуальные нагрузки и их комбинации и определить их количественно для того, чтобы четко определить их воздействие на конструкции и элементы. Следует предусмотреть, чтобы этот процесс включал установление соответствующих запасов безопасности ([1], пункт 6.45).

4.44. Для каждой комбинации нагрузок следует установить критерии приемлемости с точки зрения напряжений, деформаций и герметичности ([1], пункты 6.48–6.50).

4.45. При выборе проектных параметров и определении размеров конструкций следует учитывать местные напряжения.

4.46. Выбор проектных решений в отношении определения максимальной скорости утечки – не простой и не чисто количественный процесс. Как правило, в расчет следует принимать несколько факторов, включая ограничение напряжений в аварийных условиях, надлежащий выбор элементов (например, отсечных клапанов), надлежащий выбор герметизирующих материалов, ограничение числа проходок защитной оболочки и контроль качества строительства. В максимально возможной степени, насколько это практически достижимо, следует использовать существующие эксплуатационные данные, опыт и практические подходы.

4.47. Для подтверждения того, что системы защитной оболочки выполняют проектные требования и требования безопасности, в проект следует включать положения по проведению пусковых испытаний и эксплуатационных испытаний и проверок.

Расчетные давление и температура

4.48. Расчетные давление и температура являются двумя фундаментальными параметрами, используемыми для того, чтобы определить размер конструкции защитной оболочки (таблицы 2 и 3).

4.49. Расчетное давление следует определять путем увеличения по меньшей мере на 10 % пикового давления, которое может возникнуть в ходе проектной аварии с наиболее интенсивным выбросом массы материала и энергии. Расчетное пиковое давление следует определять на основе консервативных допущений относительно термогидравлических характеристик.

4.50. Прочность конструкции защитной оболочки, предварительно определенную на основе расчетных давления и температуры, следует проверять

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

для всех комбинаций нагрузок, причем следует обеспечивать, чтобы они соответствовали надлежащим критериям приемлемости целостности и герметичности защитной оболочки.

4.51. Расчетную температуру следует задать как максимальную температуру, которая ожидается в конструкции защитной оболочки, и ее следует определять по результатам анализа всех проектных аварий. Следует обеспечивать, чтобы конструкция защитной оболочки и ее системы сохраняли свои функциональные возможности и заданные характеристики при работе при температуре ниже расчетной.

4.52. Все значения давления и температуры, используемые в комбинациях нагрузок, следует определять с достаточными запасами, при этом во внимание следует принимать приведенные ниже факторы:

— неопределенности относительно количеств протечек жидкостей и выбросов газов, а также относительно величин расхода протечек и выбросов с точки зрения массы и энергии, включая химическую энергию реакций между металлами и водой;
— конструктивные допуски;
— неопределенности относительно мощности остаточного тепловыделения;
— количество тепловой энергии, запасенной элементами конструкции;
— количество тепловой энергии, передаваемой через теплообменники;
— неопределенности взаимозависимостей коэффициентов теплопередачи;
— консерватизм исходных условий.

Установление и количественное определение нагрузок

4.53. На основе эксплуатационного опыта и инженерной оценки следует определить и сгруппировать по вероятности происхождения все нагрузки (статические и динамические), которые ожидаются в ходе жизненного цикла станции или которые характерны для постулированных проектных аварий. Эти нагрузки следуют определить для каждого элемента конструкции защитной оболочки.

4.54. Следует обеспечивать, чтобы металлическая облицовка защитной оболочки (при ее наличии) выдерживала воздействие приложенных нагрузок и компенсировала относительное перемещение облицовки и бетона защитной оболочки, не ставя под угрозу ее герметичность. При расчете защитной оболочки на устойчивость конструкции не следует принимать в расчет облицовку.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

4.55. Конструкцию защитной оболочки следует проектировать таким образом, чтобы защищать границу давления первого контура и связанные с ней элементы от всех внешних событий, которые учитывались при проектировании.

4.56. Следует предусмотреть защиту металлических конструкций, проходок и отсечных клапанов защитной оболочки, предпочтительно посредством защитных конструкций, от воздействия реактивных сил и летящих предметов, которые могут возникнуть в ходе проектных аварий.

4.57. Первичную защитную оболочку вместе с ее вспомогательными системами следует проектировать так, чтобы они выдерживали следующие события:

(a) случайный сброс внутреннего давления до величины ниже атмосферного в ходе нормальной эксплуатации и в аварийных условиях (например, из-за произвольного срабатывания спринклерной системы); устройство для снятия вакуума является средством ограничения нагрузок, возникающих в результате сброса давления до величины ниже атмосферного;
(b) повышение давления в пространстве между первичной и вторичной защитными оболочками (в соответствующих случаях) в случае разрыва энергонапряженного трубопровода в этом пространстве, за исключением тех случаев, когда такой разрыв исключен конструктивными мерами.

Оба момента особенно важны для стальных защитных оболочек.

4.58. В таблице 2 представлен типичный набор нагрузок, воздействующих на защитную оболочку, которые следует рассмотреть на стадии проектирования (следует подтвердить его применимость для любой конкретной конструкции).

Комбинация нагрузок и критерии приемлемости

Комбинация нагрузок

4.59. Нагрузки, определение которых уже произведено, следует комбинировать с учетом следующих факторов:

— тип нагрузки (т.е. статический или динамический, распределенная или местная);
— являются ли нагрузки последовательными или одновременными (например, давление и температурные нагрузки при АПТ);

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

ТАБЛИЦА 2. МИНИМАЛЬНЫЙ НАБОР НАГРУЗОК НА ЗАЩИТНУЮ ОБОЛОЧКУ ДЛЯ УЧЕТА НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Категория нагрузки	Нагрузка	Примечания
Предэксплуатационные нагрузки	Постоянная нагрузка	Нагрузки, связанные с массой конструкций или элементов
	Временная нагрузка	Нагрузки, связанные, например, с ограничительны ми устройствами элементов
	Предварительное напряжение	Только для сооружений из предварительно напряженного железобетона
	Нагрузки при строительстве	Временные нагрузки из-за строительного оборудования или хранения крупных узлов
	Испытательное давление	См. раздел 5, пункты 5.15–5.31
	Испытательная температура	См. раздел 5, пункты 5.15–5.31
Нормальные или рабочие нагрузки	Приведение в действие предохранительного клапана	Только на реакторах с кипящей водой
	Подъем предохранительного клапана	Только на реакторах с кипящей водой
	Продувка предохранительного клапана	Только на реакторах с кипящей водой
	Рабочее давление	При нормальной эксплуатации, включая неустановившиеся режимы и останов
	Рабочая температура	При нормальной эксплуатации, включая неустановившиеся режимы и останов
	Реакции трубопроводов	При нормальной эксплуатации, включая неустановившиеся режимы и останов
	Ветер	Принимается максимальная скорость ветра в течение жизненному цикла станции (см. также [4]),
	Нагрузки, зависящие от окружающей среды и площадки	Например, снеговая нагрузка, выталкивающие силы из-за подъема грунтовых вод , экстремальные значения температуры окружающего воздуха

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

ТАБЛИЦА 2. МИНИМАЛЬНЫЙ НАБОР НАГРУЗОК НА ЗАЩИТНУЮ ОБОЛОЧКУ ДЛЯ УЧЕТА НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ (продолж.)

Категория нагрузки	Нагрузка	Примечания
	Внешнее давление	Нагрузки, появляющиеся в результате изменений давления внутри и снаружи первичной защитной оболочки
	Экстремальные скорости ветра	Нагрузки, вызванные экстремальными скоростями ветра, т.е. максимальная скорость ветра, которая может быть на данной площадке
Нагрузки из-за чрезвычайных внешних событий	Проектное землетрясение	См. также [12]
	Нагрузки, связанные с экстремальными скоростями ветра	Следует учесть возможное воздействие летящих предметов
	Падение воздушного судна	См. также [4]
	Внешний взрыв	См. также [4]
	Давление при ПА[a]	Расчетное пиковое давление в результате аварии
	Температура при ПА	Расчетная максимальная температура в результате аварии
	Реакции трубы при ПА	См. также [13]
	Ударная сила струи и/или биения трубопровода	См. также [13]
	Локальные эффекты вследствие ПА	См. также [13]
	Динамические нагрузки, связанные с ПА	Нагрузки зависят от конструкции (например, для конструкции реактора с кипящей водой характерны: продувочные нагрузки напорного трубопровода, вспучивание зеркала воды, колебание конденсации и 'хлопки' в напорном трубопроводе)

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

ТАБЛИЦА 2. МИНИМАЛЬНЫЙ НАБОР НАГРУЗОК НА ЗАЩИТНУЮ ОБОЛОЧКУ ДЛЯ УЧЕТА НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ (продолж.)

Категория нагрузки	Нагрузка	Примечания
Нагрузки в результате аварий	Приведение в действие системы сброса давления	Сброс давления первого контура (в соответствующих случаях)
	Внутреннее затопление	См. также [13]

[a] ПА – проектная авария.

— изменение во времени каждой нагрузки (чтобы избежать нереалистичного наложения пиковых нагрузок, если они не могут совпадать по времени);
— вероятность возникновения каждой комбинации нагрузок.

4.60. Как правило, комбинации нагрузок для нормальной эксплуатации и для проектных аварий учитываются в соответствующих проектных нормах. Следует учитывать включение отдельных тяжелых аварий в комбинации нагрузок (пункт 6.8).

4.61. В конце анализа количество комбинаций нагрузок может быть уменьшено путем соответствующего их группирования. Анализ при этом выполняется только для самых тяжелых случаев.

Критерии приемлемости

4.62. Для каждой комбинации нагрузок соответствующие критерии приемлемости следует определять с точки зрения допускаемых напряжений, деформаций и герметичности, в соответствующих случаях. Определение допускаемых напряжений и деформаций специфично для каждого проектно-конструкторского стандарта и для каждого типа материала защитной оболочки.

4.63. Своды положений по строительному проектированию систем защитной оболочки задают пределы допускаемых напряжений для "проектной" комбинации нагрузок и пределы напряжения при испытаниях для "испытательной" комбинации нагрузок (таблица 3). Критерии приемлемости этих комбинаций нагрузок следует определять на основе применяемого свода норм и правил по строительному проектированию.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

4.64. Для всех других комбинаций нагрузок допустимые пределы следует определять в соответствии с ожидаемыми характеристиками. Проектные запасы следует обеспечивать либо путем:

— ограничения напряжений до некоторой доли предела напряжений для данного материала; либо за счет:
— использования подхода с использованием коэффициента нагрузки (т.е. умножения величин прилагаемых нагрузок на некоторый коэффициент).

4.65. Как предлагается ниже, для обеспечения конструктивной целостности и герметичности следует определить ограниченное количество критериев (уровней) приемлемости. Этот подход является общим, и он применим к защитным оболочкам всех типов.

4.66. С точки зрения обеспечения конструктивной целостности защитной оболочки следует учитывать указанные ниже уровни:

— Уровень I: область упругих деформаций. Отсутствует какая-либо остаточная деформация или повреждение конструкции защитной оболочки. Конструктивная целостность обеспечена с большими запасами.
— Уровень II: малая величина остаточной деформации. Возможность местных остаточных деформаций. Конструктивная целостность обеспечена, хотя ее запасы меньше, чем для уровня I.
— Уровень III: большая величина остаточной деформации. Возможность значительных остаточных деформаций, также ожидаются некоторые местные повреждения. Обычно этот уровень не рассматривают в анализе проектных аварий (см. пункты 6.8–6.11 по рассмотрению тяжелых аварий).

4.67. С точки зрения обеспечения герметичности следует рассматривать указанные ниже уровни:

— Уровень I: герметичная конструкция. Утечки из защитной оболочки ниже расчетного значения и коррелируются с внутренним давлением.
— Уровень II: возможное ограниченное увеличение скорости утечки. Скорость утечки может превысить расчетное значение, однако герметичность может быть оценена достаточно точно и учтена в проекте.

ТАБЛИЦА 3. КОМБИНАЦИИ НАГРУЗОК И КРИТЕРИИ ПРИЕМЛЕМОСТИ

Описание нагрузки	Конструкция	Испытания	Нормальная эксплуата-ция	Нормальная эксплуатация плюс экстремальная скорость ветра	SL-2[a]	Внешнее давление	SL-2 плюс ПА[b]	ПА	Падение воздушно-го судна	Внешний взрыв
Постоянная	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Временная	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Предварительное напряжение (если это применимо)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Испытательное давление		x								
Испытательная температура		x								
Проектное давление	x									
Проектная температура	x									
Рабочие нагрузки			x	x	x	x			x	x
Рабочая температура			x	x	x	x			x	x
Реакции трубы			x	x	x	x			x	x
Экстремальная скорость ветра				x						
Внешнее давление						x				

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

ТАБЛИЦА 3. КОМБИНАЦИИ НАГРУЗОК И КРИТЕРИИ ПРИЕМЛЕМОСТИ (продолж.)

Описание нагрузки	Конструкция	Испытания	Нормальная эксплуатация	Нормальная эксплуатация плюс экстремальная скорость ветра	SL-2[a]	Внешнее давление	SL-2 плюс ПА[b]	ПА	Падение воздушного судна	Внешний взрыв
Землетрясение SL-2					x		x			
Давление ПА							x	x		
Температура ПА							x	x		
Реакции трубы ПА	x						x	x		
Падение летательного аппарата									x	
Внешний взрыв										x
Критерии приемлемости конструктивной целостности (предельное значение)	Допускаемое проектное напряжение	Пределы напряжений при испытаниях	I	I	II	II	II	I	II	II
Критерии приемлемости по герметичности (предельное значение)	Допускаемая проектная герметичность	I	I	I	II	II	неприменимо	I	неприменимо	неприменимо

[a] SL-2, сейсмический уровень 2.

[b] ПА, проектная авария.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

— Уровень III: большое или очень большое увеличение скорости утечки. Герметичность не может быть обеспечена вследствие больших деформаций конструкции защитной оболочки. Конструктивная целостность может все еще обеспечиваться.

4.68. Уровни приемлемости с точки зрения конструктивной целостности и герметичности следует указывать для каждой комбинации нагрузок, включенной в проектные основы. Уровни приемлемости следует выбирать в соответствии с ожидаемыми характеристиками, определяемыми исходя из соображений безопасности.

Соотношение комбинации нагрузок и критериев приемлемости

4.69. В таблице 3 представлен минимальный набор рекомендованных комбинаций нагрузок для типичного корпусного водо-водяного реактора. С учетом фактических особенностей и конкретных областей применения следует проверить их применимость и изменить их перечень или создать новый. Например, для проходок, воздушных шлюзов или люков может потребоваться разработка специфических таблиц нагрузок. В таблицу не включены комбинации нагрузок для отдельных тяжелых аварий (обсуждение тяжелых аварий см. в разделе 6). В таблице 3 также приведены рекомендованные критерии приемлемости по каждой комбинации нагрузок.

4.70. Следует объединять нагрузки, появляющиеся в результате землетрясения SL-2[6] [14], и нагрузки от проектных аварий, хотя в реальности нагрузки от проектных аварий не могут быть следствием сейсмических нагрузок, поскольку граница давления проектируется, чтобы выдерживать землетрясение SL-2[7].

---

[6] Землетрясение сейсмического уровня 2 (SL-2) непосредственно соответствует предельным требованиям безопасности. Требуется, чтобы вероятность того, что в течение срока службы станции будет превышен уровень смещения грунта, связанный с таким землетрясением, была весьма низкой. Он представляет собой максимальный уровень смещения грунта, предполагаемый для целей проектирования.

[7] В некоторых государствах эта комбинация не требуется; в других государствах требуется обеспечение герметичности защитной оболочки при максимальном давлении ПА, скомбинированной с половинной величиной сейсмических нагрузок.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

Местные напряжения и усталость

4.71. Следует произвести оценку распределения местных напряжений, в том числе напряжений на сварных соединениях, и их влияние на механические характеристики конструкций, включая скорости утечки.

4.72. Для защитных оболочек из предварительно напряженного железобетона особое внимание следует уделить выявлению зон с малой величиной предварительного напряжения (таких, как зоны вокруг больших проходок и переходные зоны от цилиндрической части к опорной плите) для того, чтобы предпринять меры по предотвращению образования трещин и потери герметичности из-за ползучести и усадки бетона. В этих критически важных зонах, в том случае если защитная оболочка не имеет внутренней облицовки, герметичность следует обеспечивать нанесением местного покрытия, местным введением герметиков или другими соответствующими методами.

4.73. Для защитных оболочек с металлической облицовкой зоны анкеровки облицовки к бетону и крепления облицовки к другим металлическим конструкциям, таким как проходки, также являются критически важными зонами. Следует проанализировать и принять в расчет влияние местных напряжений в этих зонах.

4.74. Оценку подверженности конструкций усталости следует выполнять на основе полной оценки напряжений и периодических изменений нагрузок, включая циклическое изменение давления при проведении испытаний, термоциклирование и реакции трубопроводов.

Предельная прочность защитной оболочки и виды отказов

4.75. Для определения предельной прочности защитной оболочки следует выполнить соответствующий анализ. Следует рассмотреть поведение объема конструкции защитной оболочки под статическими (давление, температура и воздействие труб) и динамическими (сейсмическими) нагрузками, обращая должное внимание на такие локальные эффекты, как наличие проходок и конструктивных особенностей.

4.76. Следует подвергнуть анализу такие виды отказов, как разрыв облицовки, выход из строя проходок и разрыв предварительно напряженной арматуры. Насколько это возможно, следует предусмотреть, чтобы отказы не были катастрофическими и не вызывали дополнительного повреждения систем и элементов, отвечающих за локализацию радиоактивного материала.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

4.77. В рамках анализа следует показать, что критерии приемлемости конструктивной целостности и герметичности защитной оболочки соблюдены с достаточным запасом во избежание пороговых эффектов[8].

Конструкции внутри защитной оболочки

4.78. Следует учитывать, что в связи с возможностью выбросов больших масс и энергий необходимо, чтобы, во избежание обрушения защитной оболочки, ее внутренние конструкции выдерживали перепады давлений, которые могут возникнуть между различными отсеками. Для каждого отсека следует рассмотреть самое неблагоприятное место с точки зрения повреждения. При анализе влияния отверстий между отсеками на стадии проектирования следует исходить из консервативного подхода, причем следует проверить, что по завершении строительства эти отверстия не будут непреднамеренно загромождены.

4.79. Следует учитывать, что внутренние конструкции должны выдерживать нагрузки от проектных аварий, т.е. выдержать гидродинамические нагрузки, которые вызываются потоком воды из нагнетательных трубопроводов предохранительных клапанов и предохранительных клапанов в барботажный бассейн, набухание уровня бассейновой воды, колебание конденсата, резкое изменение параметров и другие связанные гидравлические явления.

Конструкция вторичной защитной оболочки (если это применимо)

4.80. Как правило, для наружной стенки двойных защитных оболочек используются железобетонные конструкции. Следует обеспечивать, чтобы скорость утечки для наружной стенки была достаточно низкой и в кольцевом пространстве сохранялось пониженное давление для обеспечения сбора утечки. Следует задать максимальную скорость утечки с учетом наиболее тяжелых нагрузок в кольцевом пространстве, вызванных проектными авариями и внешних факторами окружающей среды (в особенности, экстремальными скоростями ветра). Конструкцию вторичной защитной оболочки следует проектировать таким образом, чтобы предотвратить прямое воздействие внешних летящих предметов на первичную защитную оболочку или, по меньшей мере, ограничить связанные с этим событием нагрузки.

---

[8] “Пороговый эффект” – тяжелый случай аномального поведения станции, вызванный резким переходом станции от одного состояния к другому вслед за незначительным отклонением одного из параметров станции, то есть имеет место прерывность первой производной отклика на малое изменение входного сигнала.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

Строительное проектирование систем защитной оболочки

4.81. Для систем защитной оболочки следует задать так же, как и для конструкций самой защитной оболочки, ряд репрезентативных нагрузок и их комбинаций, а также определить набор соответствующих критериев приемлемости.

УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ ЭНЕРГИИ В ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКЕ

Общие положения

4.82. Устройства для поглощения энергии – это термин, используемый для описания всех устройств защитной оболочки, которые воздействуют на энергетический баланс внутри защитной оболочки и, таким образом, играют роль в поддержании давления и температуры в приемлемых пределах. В существующих и новых конструкциях водоохлаждаемых реакторов используются следующие устройства для поглощения энергии:

(a) внутренне присущие конструктивные особенности, способствующие поглощению энергии (например, свободный объем защитной оболочки и использование строительных конструкций в качестве теплоотводов);
(b) спринклерные системы;
(c) системы охлаждения воздуха;
(d) системы барботажного бассейна;
(e) системы ледовых конденсаторов;
(f) системы сброса вакуума;
(g) внешние рециркуляционные системы охлаждения;
(h) пассивные системы охлаждения защитной оболочки.

4.83. Следует предусматривать, чтобы активные элементы систем для поглощения энергии, которые в ходе нормальной эксплуатации находятся в резервном режиме, были доступны для проверок.

Контроль давления и температуры при эксплуатации станции

4.84. Следует предусмотреть, чтобы в ходе нормальной эксплуатации станции работала вентиляционная система, поддерживающая давление, температуру и влажность атмосферы защитной оболочки в пределах, установленных при проектировании на основе допущений и результатов анализа безопасности. Следует обеспечить, чтобы эти пределы соответствовали параметрам

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

аттестации оборудования. Следует обеспечить соответствующий дозиметрический контроль и фильтрацию отходящего воздуха.

4.85. В некоторых конструкциях может возникнуть необходимость периодического сброса воздуха из-за нарастания давления в результате утечки сжатого воздуха из пневматических систем и сжатого воздуха для технических нужд. В этом случае следует обеспечить соответствующий контроль за содержанием радиоактивного материала в отходящем воздухе и соответствующую фильтрацию этого воздуха.

Контроль давления и температуры в случае проектных аварий

4.86. Для разных типов защитных оболочек используются различные типы систем для поглощения энергии (Приложение I). Следует задать проектные характеристики систем для поглощения энергии, с тем чтобы в случае аварии можно было достичь стабильного состояния со сброшенным в защитной оболочке давлением в течение разумного срока (обычно несколько дней) после начала аварии.

4.87. Следует обеспечивать, чтобы конструкция защитной оболочки не зависела от системы вентиляции как средства поддержания конструктивной целостности в условиях любой проектной аварии.

Внутренне присущие конструктивные особенности, способствующие поглощению энергии

4.88. Свободный объем пространства в пределах границ защитной оболочки является первичным физическим параметром, определяющим значения пиковых давлений после постулированных разрывов трубопровода. Таким образом, этот свободный объем может использоваться как внутренне присущая конструктивная особенность, обеспечивающая безопасность и обладающая надежностью. Если объем защитной оболочки подразделен на отсеки, которые оборудованы разрушающимися панелями или жалюзи, которые открываются в случае АПТ, эти разрушающиеся панели или жалюзи следует проектировать так, чтобы они быстро открывались при заданном давлении, таким образом, быстро выравнивая давление в различных отсеках и предоставляя возможность использовать полный свободный объем защитной оболочки.

4.89. Конструкция самой защитной оболочки и ее внутренние конструкции, а также вода, находящаяся в пределах защитной оболочки, действуют в качестве пассивного теплоотвода. В постулированных условиях аварии разрыва

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

трубопровода скорость передачи тепловой энергии к конструкциям является важным параметром для определения давлений и температур. Важнейшим механизмом теплообмена является конденсация пара на открытых поверхностях, и теплопроводность конструкции играет важную роль в определении скорости теплопередачи. Следует консервативно принимать в расчет все условия, которые могут ухудшить передачу тепловой энергии к конструкциям, такие как влияние покрытий или зазоров, и устанавливать соответствующие запасы.

Спринклерные системы защитной оболочки

4.90. Функция спринклерной системы как устройства для поглощения энергии заключается в том, чтобы отобрать тепловую энергию из атмосферы защитной оболочки с целью ограничения как максимальных значений, так и длительности воздействия высоких давлений и температур в пределах границ защитной оболочки после проектной аварии.

4.91. Спринклерную систему защитной оболочки следует проектировать таким образом, чтобы основная часть свободного объема в пределах границ защитной оболочки, куда может уходить пар в результате аварии, могла быть орошена водой после АПТ. В отношении защитных оболочек с ледовым конденсатором следует обратить внимание на необходимость установки спринклерных систем как в верхних, так и в нижних отсеках защитной оболочки (пункт 4.110).

4.92. Спринклерные коллекторы и распылительные головки следует проектировать таким образом, чтобы обеспечивать равномерное распределение капель воды, которые должны быть достаточно маленькими, чтобы быстро – в течение их падения – достичь теплового равновесия с атмосферой защитной оболочки.

4.93. Как правило, в качестве начального источника подачи воды для спринклерной системы защитной оболочки после разрыва трубопровода служит большой бак-накопитель. Впоследствии спринклерная система может работать в режиме рециркуляции, забирая воду из соответствующих точек сбора в водосборнике защитной оболочки или в барботажном бассейне. При определении необходимого расхода в этих точках сбора при проектировании следует принимать в расчет необходимость защитить оборудование, важное для безопасности, предотвратив затопление его водой или обеспечив его работоспособность при затоплении. В случаях, когда это невозможно, оборудование следует разместить в другом месте.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

4.94. Если спринклерная система спроектирована для работы в режиме рециркуляции, следует обеспечить, чтобы распыляющие головки сопла имели конструктивную защиту против засорения наибольшими постулированными обломками, которые могут достичь их через фильтры на всасывающем патрубке. Подобным же образом, насосы спринклерной системы следует проектировать так, чтобы не возникало отказов в результате кавитации или засорения приемной линии.

4.95. Влияние спринклерной системы на ограничение давления может зависеть от времени, необходимого для распыления воды после АПТ. Поэтому для использования в анализе переходных процессов давления и температуры в защитной оболочке следует определить время задержки начала орошения. При анализе следует принимать во внимание времена срабатывания элементов и время, необходимое для заполнения спринклерного трубопровода, коллекторов и распылительных головок.

Системы охлаждения воздуха защитной оболочки

4.96. В условиях АПТ системы охлаждения воздуха защитной оболочки могут работать, в значительной степени, в режиме теплообмена за счет конденсации. В этой связи при проектировании и при проведении испытаний следует использовать соответствующие аналитические соотношения коэффициентов теплопередачи с температурами, давлениями и величинами паросодержания.

4.97. При проектировании вентиляторов системы охлаждения воздуха защитной оболочки следует принимать во внимание изменение плотности атмосферы в ходе проектной аварии. Способность теплоотвода охлаждающей воды, подаваемой в систему охлаждения воздуха, следует задавать такой, чтобы исключить кипение хладагента. Кроме того, систему водяного охлаждения воздушных холодильников следует проектировать с учетом возможности возобновления потока охлаждающей воды после временного перерыва потока.

Системы понижения давления бассейнового типа

Системы снижения давления с бассейном-барботером

4.98. Защитные оболочки с системами снижения давления с бассейном-барботером разделяются на два отсека, один из которых называется сухим боксом (в котором находится реактор), а другой – мокрым боксом (в котором находится бассейн-барботер). Обычно эти два отсека изолированы друг от друга. Когда давление в сухом боксе значительно превышает давление в

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

мокром боксе, пар и газы перетекают из сухого бокса в мокрый, и происходит конденсация пара в бассейне с водой. В некоторых проектах также может открыться канал между мокрым и сухим боксами в том случае, если давление в мокром боксе выше давления в сухом. В некоторых конструкциях защитных оболочек барботажные бассейны используются и для сбора пара, выбрасываемого через предохранительные и перепускные клапаны, либо для рециркуляции воды в системе аварийного охлаждения активной зоны реактора. При сбросе пара и газов в воду бассейна-барботера возникают сложные гидравлические переходные процессы и изменения давления. Следует обеспечивать такую конструкцию сухих и мокрых боксов, чтобы анализ и испытания позволяли надежно выявить гидравлические реакции и динамические нагрузки.

4.99. Следует определить гидравлические реакции и нагрузочную функцию при различных комбинациях нормальных эксплутационных событий или ожидаемых при эксплуатации явлений.

4.100. Следует предусмотреть такую конструкцию системы бассейна-барботера, чтобы как сам бассейн, так и система защитной оболочки в целом и другие системы безопасности сохраняли работоспособность во всех эксплуатационных состояниях и/или всех постулированных аварийных условиях.

4.101. Конструкцию системы бассейна-барботера следует проектировать таким образом, чтобы после постулированной АПТ пар и газы из сухого бокса в мокрый проходили через патрубки, заглубленные в воду бассейна мокрого бокса.

4.102. Следует свести к минимуму перетечку между сухим и мокрым боксами в обход заглубленных патрубков, и ее следует учитывать в проекте.

4.103. Следует предусмотреть, чтобы использование системы бассейна-барботера для других функций не препятствовало выполнению его основной функции обеспечения средств контроля в АПТ.

4.104. Сухой бокс следует проектировать таким образом, чтобы он выдерживал избыточное понижение давления, вызываемое случайным срабатыванием или срабатыванием после АПТ спринклерной системы, либо был защищен от этого (например, при помощи автоматических клапанов срыва вакуума).

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

Системы снижения давления с бассейнами со струйными конденсаторами

4.105. Струйные конденсаторы – устройства компенсации давления, устанавливаемые для борьбы с АПТ. Конденсация пара, сброшенного из контуров охлаждения реактора, достигается прямым контактом с холодной водой или смешиванием с ней в смесительной камере конденсатора. Конденсатор часто располагается в бассейне с водой, который также используется и для других целей, например как аварийный водяной бак. Конструкцию конденсатора следует сделать такой, чтобы она обеспечивала процессы перемешивания и конденсации в верхней части конденсатора и чтобы теплый конденсат сливался в верхнюю часть бассейна, а холодная вода, необходимая для конденсации, забиралась бы от дна бассейна.

4.106. Следует предусмотреть, чтобы струйные конденсаторы имели перечисленные ниже характеристики:

— конструкцию следует выполнить с таким расчетом, чтобы она позволяла конструкции защитной оболочки выдерживать тепловые нагрузки и нагрузки давлением в течение всей проектной аварии, в том числе в течение самых первых нескольких секунд;
— следует предусмотреть, чтобы смешивание и конденсация были сосредоточены в конденсаторе, не оказывая воздействия на стены и оборудование в большом бассейне с водой;
— следует эффективно использовать весь объем воды, имеющейся для компенсации давления;
— следует обеспечить, чтобы конденсатор эффективно работал в широком диапазоне значений массового расхода пара, который подлежит конденсации;
— следует обеспечить, чтобы конденсация пара была стабильной, без больших колебаний, в результате чего для поддержания расхода через конденсатор требовался бы малый перепад давлений;
— следует избегать формирования и быстрой конденсации больших пузырьков пара, что могло бы привести к волнам давления в водном бассейне;
— следует сводить к минимуму заброс воды из водного бассейна в линию продувки.

Системы ледовых конденсаторов

4.107. Защитная оболочка с ледовым конденсатором делится на три основных отсека: нижний, верхний и камеру ледового конденсатора. После разрыва

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

энергонапряженных трубопроводов устанавливается переток из нижнего отсека в верхний через ледовый конденсатор. При протекании высоконапорной струи паровоздушной смеси через колонны борированного льда происходит конденсация пара на поверхности льда. Если продолжительность протекания пара затягивается, то происходит полное расплавление льда. В дальнейшем поглощение энергии следует осуществлять с помощью иных средств, например, с помощью спринклерных систем защитной оболочки.

4.108. Следует предусмотреть, чтобы конструкция системы ледового конденсатора обеспечивала:

— достаточность интенсивности теплопередачи от пара к ледяным колоннам во всех постулированных аварийных условиях (т.е. загрузка льдом должна быть достаточной);
— поддержание геометрии ледового конденсатора при любых аварийных нагрузках;
— надежность открывания заслонок линии продувки.

4.109. Следует обеспечивать, чтобы соотношения теплообмена, используемые в расчетах ледового конденсатора, основывались на результатах репрезентативных испытаний.

4.110. Следует обеспечивать, чтобы конструкция ледового конденсатора допускала проведение периодического технического обслуживания, проверок и испытаний. Важными характеристиками ледового конденсатора, которые следует поддерживать в ходе эксплуатации, являются температура льда, общая масса льда, равномерность распределения льда, достаточность проточных каналов между ледяными колоннами и эксплутационная готовность заслонок линии продувки. В проекте следует учитывать долгосрочное поведение систем защитной оболочки. В ходе аварии воздух и неконденсирующиеся газы будут перетекать в верхний отсек, в то время как нижний отсек будет заполняться паром. Таким образом, если спринклерная система защитной оболочки будет орошать только верхний отсек, то это не приведет к снижению давления ниже определенного предела, который будет зависеть от соотношения объемов отсеков. Если в нижнем отсеке установлено оборудование для прямого поглощения энергии, то следует предусмотреть систему срыва вакуума соответствующей конструкции во избежание возникновения перепада давления между этими двумя отсеками.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

Системы вакуумного понижения давления

4.111. Для конструкций защитных оболочек, в которых давление внутри защитной оболочки ниже атмосферного, система сброса давления, вакуумированное здание и соответствующее вакуумное оборудование обеспечивают поглощение энергии на начальной стадии, т.е. они снижают давление внутри реакторного здания, возникшее в результате АПТ. Предохранительные клапаны, изолирующие вакуумированное здание, реагируют на увеличение давления и открываются, чтобы соединить здание реактора с вакуумированным зданием через каналы; таким образом, паровоздушная смесь, образующаяся в результате АПТ, засасывается в вакуумированное здание. В некоторых конструкциях для изолирования каждого реакторного здания от общего канала при нормальной эксплуатации устроены панели, которые раскрываются при повышении давления в реакторном здании. Следует предусмотреть, чтобы панели надежно раскрывались и обеспечивали достаточное проходное сечение. Следует обеспечить, чтобы вакуумная система поддерживала заданную проектом величину разрежения. Следует предусмотреть такую конструкцию предохранительных клапанов, чтобы:

— при нормальной эксплуатации обеспечивалось изолирование вакуумированного здания от канала сброса давления;
— в случае любого разрыва трубы в системе теплоносителя реактора обеспечивалось достаточное проходное сечение, предотвращающее повышение давления в здании реактора и канале сброса давления до величины, превышающей расчетное значение;
— был обеспечен достаточно быстрый сброс избыточного давления для того, чтобы выброс радиоактивных веществ из защитной оболочки не превысил установленные пределы;
— был обеспечен достаточный фильтрованный расход через канал сброса давления для того, чтобы оперативно возвратить защитную оболочку к работе под давлением ниже атмосферного.

Внешнее рециркуляционное охлаждение

4.112. В некоторых системах снижения давления используется внешняя рециркуляция воды из водосборника или из мокрого бокса для удаления остаточного тепла из защитной оболочки в течение среднесрочного периода (примерно спустя час после аварии). Эти внешние рециркуляционные петли являются частью границы защитной оболочки. Следует обеспечивать, чтобы они соответствовали требованиям в отношении конструкционной целостности

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

и герметичности, сопоставимых с требованиями к конструкции собственно защитной оболочки.

4.113. Следует предусмотреть такие требования к объему воды, который хранится в отстойнике, и к конструкции точек забора воды таковы, чтобы в любое время для рециркуляционных насосов была обеспечена достаточная высота всасывания. В соответствующих случаях при проектировании систем рециркуляции следует учитывать возможность кипения воды в водосборнике.

4.114. Следует предусмотреть резервирование рециркуляционных петель и их вспомогательных систем, удовлетворяющее критерий единичного отказа, и их следует пространственно разделить для того, чтобы уменьшить потенциальную возможность отказа по общей причине. Устройства, через которые происходит забор жидкости, следует проектировать так, чтобы свести к минимуму кавитацию и предотвратить засасывание постороннего материала (например, теплоизоляции), который мог заблокировать или повредить систему рециркуляции.

4.115. Во избежание засорения сеток и фильтров при проектировании следует уделять особое внимание конструкции трубопроводов, изоляции узлов и самих входных сеток и фильтров; также следует учитывать поведение в аварийных условиях органических красок и покрытий.

4.116. Рециркуляционные петли следует оборудовать устройствами обнаружения утечек и изолирующими устройствами, размещенными за пределами защитной оболочки и вблизи ее проходок, чтобы иметь возможность изолировать любые протечки во внешних рециркуляционных петлях и, следовательно, удержать достаточное количество воды для охлаждения. Любую утечку между проходкой защитной оболочки и отсечным клапаном следует предотвращать с помощью конструктивных мер, например, a) посредством устройства защитной трубы или расположения отсечного клапана вблизи проходок; b) посредством контроля качества изготовления устройств для предотвращения утечек. Следует ввести в действие строгие проверки, контроль выполнения технического обслуживания и проведения испытаний.

4.117. Для передачи тепла к конечному поглотителю тепла следует предусмотреть промежуточную систему охлаждения. Эту систему охлаждения следует оборудовать устройствами для обнаружения и изолирования утечек в пределах теплообменников рециркуляционной петли. Эту систему следует классифицировать как систему безопасности.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

4.118. В некоторых проектах защитной оболочки не используются системы охлаждения атмосферы защитной оболочки, такие, как спринклерные системы или системы охлаждения воздуха защитной оболочки. В случае АПТ эти проекты полагаются на пассивное рассеяние тепла и на выброс пара из систем теплоносителя реактора в атмосферу защитной оболочки, ограниченное по времени посредством системы аварийной подпитки (особенно подпитки горячей нитки) соответствующей конструкции. В таких случаях следует показать, что поглощение энергии в защитной оболочке в среднесрочном и долгосрочном планах может быть обеспечено за счет рециркуляционного охлаждения воды в водосборнике при работе системы аварийной подпитки.

4.119. Следует предусмотреть такую конструкцию системы аварийной подпитки, чтобы выброс пара из разрушенного трубопровода был достаточно ограничен по времени с учетом доступных пассивных теплоотводов, обеспеченных защитной оболочкой и ее внутренними конструкциями.

Пассивные системы охлаждения защитной оболочки

4.120. В некоторых защитных оболочках со стальной облицовкой тепловая энергия, высвобожденная в пространство защитной оболочки в аварийных условиях, может быть пассивно удалена через герметичную стенку. Вторичная защитная оболочка проектируется таким образом, чтобы удаление тепловой энергии происходило путем обеспечения естественной циркуляции воздуха (эффект образования тяги) и посредством для пассивного орошения внешней стороны первичной защитной оболочки. В других проектах защитных оболочек предусмотрено использование пассивных охладителей-конденсаторов, осуществляющих отвод тепла в воду бассейна за счет естественной циркуляции. Если используется такое пассивное охлаждение защитной оболочки, то следует учитывать следующие аспекты:

(a) площадь охлаждающей поверхности следует задавать достаточной для отвода тепловой энергии, выделяющейся в защитной оболочке, и охлаждения атмосферы и конструкции внутри защитной оболочки. Для всех эксплуатационных состояний следует консервативно определить коэффициенты теплопередачи;
(b) при всех соответствующих проектных авариях следует обеспечить естественную циркуляцию в пределах защитной оболочки и теплоперенос естественной циркуляцией к внешнему теплоотводу;
(c) характеристики всей системы следует обосновать посредством испытаний и анализов. Следует провести тщательный поиск возможных вредных эффектов и видов отказов с целью достижения высокой степени

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

уверенности в том, что выполнение функций безопасности будет обеспечено при всех проектных авариях.

ОБРАЩЕНИЕ С РАДИОНУКЛИДАМИ

Параметры источника выброса в защитной оболочке

4.121. Для того чтобы оценить общие характеристики защитной оболочки и, в частности, меры по обращению с радионуклидами, следует оценить постулированные количество и изотопный состав радионуклидов, которые будут выброшены из защитной оболочки (параметры источника выброса) при различных рассматриваемых авариях. Для проектных аварий это следует сделать посредством консервативного анализа ожидаемого поведения активной зоны и систем безопасности. В расчет следует принимать самые пессимистические начальные условия для соответствующих параметров (например, для суммарного количества радионуклидов в системах и для скоростей утечки) в рамках допустимых пределов, установленных в технических условиях для станции.

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

4.123. Будучи уловленным в бассейнах с водой внутри защитной оболочки, иод может повторно улетучиться в ее атмосферу в средне- и долгосрочном плане, если не поддерживать соответствующую величину водородного показателя. Поэтому необходимо оценить все условия, которые могут изменить величину водородного показателя воды в бассейнах в ходе аварии, и, в случае необходимости, обеспечить необходимые средства для поддержания щелочной реакции воды в бассейнах.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

Герметичность защитной оболочки

4.124. Эффективный способ ограничения выбросов радиоактивных веществ в окружающую среду состоит в том, чтобы поддерживать скорость утечки ниже консервативно установленных пределов в течение эксплуатационного срока службы станции[9]. Как минимум, скорости утечки следует задавать достаточно малыми, чтобы обеспечить, что соответствующие пределы доз не превышаются в ходе нормальной эксплуатации или в аварийных условиях.

4.125. На стадии проектирования следует задать целевую скорость утечки на уровне, значительно более низком, чем скорость утечки предела безопасности, т.е. значительно ниже скорости утечки, принятой в оценке возможных выбросов радиоактивных веществ в результате аварий. Этот запас полезен с точки зрения снижения вероятности того, что непредвиденные модификации, сделанные в стадии проектирования или строительства, заставят фактическую скорость утечки приблизиться к скорости утечки предела безопасности.

4.126. С целью ограничения числа каналов утечки, следует свести к минимуму количество проходок. Внешние удлинители проходок следует устанавливать в защитном здании, по меньшей мере до первого отсечного клапана, для того, чтобы собрать и профильтровать любые утечки до того, как произойдет выброс радиоактивных веществ.

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

4.128. Как описано в пунктах 4.169–4.183 и 4.225–4.230, для обеспечения герметичности защитной оболочки в случае аварии следует предусмотреть надежную систему приведения в действие устройств изолирования защитной оболочки.

4.129. При необходимости следует рассмотреть дополнительные меры ликвидации возможных путей утечки. Например, в некоторых конструкциях

---

[9] Примеры таких пределов, которые применяются в государствах-членах: общая утечка составляет 0,25–0,5% содержащейся массы свободного газа и пара в день при проектном давлении для стальных защитных оболочек или железобетонных защитных оболочек со стальной облицовкой; общая утечка составляет 1,0–1,5% в день для защитных оболочек из предварительно напряженного железобетона без стальной облицовки.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

используется система наддува, в которой между последовательно установленными отсечными клапанами вводится текучая среда (вода или азот) (в этом случае для борьбы с единичным отказом нужно, по меньшей мере, три клапана).

Сокращение количества аэрозольных радионуклидов

Общие положения

4.130. Как применение концепции глубокоэшелонированной защиты и в дополнение к мерам по обеспечению герметичности защитной оболочки следует принимать меры к сокращению общего количества радионуклидов в атмосфере защитной оболочки.

4.131. В целом, одной системы недостаточно для того, чтобы уменьшить концентрацию радионуклидов, поэтому обычно используется несколько систем. В эксплуатируемых водоохлаждаемых реакторах и в новых проектах этих реакторов используются следующие методы сокращения количества аэрозольных радионуклидов:

(a) осаждение на поверхностях;
(b) спринклерные системы;
(c) бассейны понижения давления;
(d) вентиляционные системы.

4.132. Следует предусмотреть, чтобы в период нахождения в режиме ожидания при нормальной эксплуатации активные системы для сокращения концентрации аэрозольных радионуклидов были доступны для проверки испытаниями.

Осаждение на поверхностях

4.133. Конструкция защитной оболочки и ее внутренние конструкции представляют собой первичный механизм удаления аэрозольного радиоактивного вещества, так как они имеют большую площадь поверхности для осаждения. Коэффициенты осаждения и десорбции для конструкции защитной оболочки следует задавать консервативным образом на основе наиболее современных знаний в отношении осаждения радионуклидов на поверхностях. Следует предусматривать, чтобы поверхности защитной оболочки и ее внутренние конструкции в максимально возможной степени допускали проведение дезактивации.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

Спринклерная система защитной оболочки

4.134. Функция управления радионуклидами спринклерной системы защитной оболочки заключается в том, чтобы сократить количество аэрозольных радиоактивных веществ путем удаления их из атмосферы защитной оболочки и удержания их в воде водосборника защитной оболочки или в бассейне системы понижения давления. Это способствует ограничению любых радиологических последствий в результате утечки радиоактивного материала из защитной оболочки в атмосферу при постулированных аварийных условиях.

4.135. Важными параметрами и факторами, которые следует учитывать при проектировании спринклерной системы защитной оболочки, являются зона охвата, размер распыленных капель, время существования капель и химический состав спринклерной воды. Как правило, к спринклерной воде следует добавлять химические вещества для улучшения удаления радионуклидов из атмосферы. Особенно важно обеспечить удаление радиоактивного иода из-за представляемой им опасности с точки зрения получения больших удельных доз облучения. Для того чтобы максимально повысить растворение радиоактивного иода и поддерживать такой водно-химический режим в водосборнике или в бассейне подавления давления, чтобы в течение длительного времени после аварии не происходило высвобождение радиоактивного иода из раствора, следует предусмотреть систему ввода химических присадок.

4.136. Следует обеспечивать, чтобы любые химические присадки не вызывали коррозии материалов, присутствующих в защитной оболочке, как вскоре, так и в течение длительного времени после аварии. Коррозия может не только уменьшить прочность жизненно важных конструктивных элементов и ухудшить работу систем безопасности, но и вызвать также появление горючих газов и других нежелательных химических соединений.

4.137. Следует предусмотреть такую конструкцию спринклерных систем защитной оболочки, которая обеспечивает низкую вероятность ошибочного срабатывания.

Системы понижения давления бассейнового типа

4.138. Бассейны или баки с водой, через которые происходит барботирование атмосферы защитной оболочки с целью конденсирования пара, следует рассматривать в качестве ценного средства для удаления радиоактивных продуктов. Однако оценку эффективности такого процесса следует производить

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

с осторожностью, поскольку эффективность зависит от термодинамического состояния воды и пара. Например, степень переохлаждения воды и эффективность последующей конденсации пара значительно влияет на эффективность очистки бассейна подавления давления.

Вентиляционные системы и системы удаления газа

4.139. При использовании вентиляционных систем для очистки сбросного воздуха для смягчения последствий аварии фильтры следует проектировать и обслуживать таким образом, чтобы исключить любую возможность забивания фильтров загрязняющими веществами сверх разрешенных пределов до их использования в связи с аварией.

4.140. В случае необходимости вентиляционную систему следует оснастить оборудованием, препятствующим понижению температуры на входе воздушного фильтра ниже точки росы (таким, как влагоотделители и подогреватели перед фильтрами).

4.141. Надлежащую эффективность сорбционного материала в иодных фильтрах следует подтверждать путем лабораторных испытаний в смоделированных аварийных условиях. Следует обеспечить возможность периодического испытания системы фильтрации на месте.

4.142. Вентиляционные системы часто используются для сбора, фильтрации и выдачи воздуха из межстеночного пространства двойных защитных оболочек или от вторичной защитной негерметичной оболочки, которые могут подвергнуться радиоактивному загрязнению аэрозольными радионуклидами в аварийных условиях в результате утечки из защитной оболочки. Для таких случаев применимы рекомендации в пунктах 4.139-4.141.

4.143. В случае оборудования защитной оболочки системами удаления газа сбросы следует подвергать фильтрации с целью контроля выброса радионуклидов в окружающую среду [15]. Следует предусмотреть, чтобы типичные системы фильтрации включали песчаные фильтры, скрубберные многодиффузорные системы, высокоэффективные воздушные сухие фильтры или угольные фильтры либо их сочетания. Если в бассейне производится мокрая очистка воздуха, то применение высокоэффективных воздушных сухих фильтров или песчаных и угольных фильтров может не понадобиться.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

4.144. 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.

Байпасирование защитной оболочки

4.145. Байпасирование защитной оболочки происходит в том случае, когда последовательность отказов позволяет теплоносителю первого контура и любым сопутствующим продуктам деления выходить во внешнюю атмосферу без воздействия на них таких систем защитной оболочки, как системы поглощения энергии, обращения с радионуклидами и контроля горючих газов. В сопряженных системных АПТ происходит отказ клапанов, изолирующих низконапорный трубопровод, и происходит разрушение трубопровода, связанного с системой теплоносителя реактора за пределами защитной оболочки. Насколько возможно, следует устранять возможные пути развития сопряженных системных АПТ либо за счет изменения расположения системы в защитной оболочке, либо за счет увеличения проектного давления низконапорной системы выше давления системы теплоносителя реактора. Для любых сохраняющихся возможных путей развития сопряженных системных АПТ следует предусмотреть, чтобы меры изолирования высоконапорной системы от низконапорной системы были надежны настолько, насколько это практически осуществимо.

4.146. В корпусных водо-водяных реакторах разрыв трубы парогенератора является событием байпасирования защитной оболочки, которое может привести к значительным выбросам радиоактивного материала. В парогенераторах следует использовать такие превентивные проектные решения, которые позволят сократить частоту таких событий до очень низкого уровня. Следует предусмотреть, чтобы проект станции допускал изолирование байпаса защитной оболочки вследствие повреждения парогенератора прежде, чем величина радиоактивных выбросов в окружающую среду достигнет разрешенных пределов [15].

Двойные защитные оболочки

4.147. Двойная защитная оболочка – это такая конструкция, в которой первичная защитная оболочка полностью накрыта вторичной защитной оболочкой. Цель вторичной защитной оболочки состоит не в том, чтобы взять на себя функции первичной защитной оболочки в случае её отказа, а в том, чтобы обеспечить сбор утечек в пространстве между двумя оболочками и

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

организовать фильтрованный выброс через вентиляционную трубу. Эту функцию называют вторичной локализацией.

4.148. Системы, связанные с выполнением функции вторичной локализации, следует проектировать таким образом, чтобы они служили для сбора, фильтрования и выпуска газов и жидкостей, содержащих радионуклиды, которые просочились из защитной оболочки в аварийных условиях, либо для закачки протечек назад в защитную оболочку. Это – один из способов сокращения аварийных радиоактивных выбросов (путем фильтрования) и их воздействия (посредством выброса газов через трубу вместо выбросов на уровне земли). Для новых станций следует рассматривать преимущества полной или частичной вторичной локализации. Следует предусматривать, чтобы при частичной вторичной локализации (т.е. той, при которой вторичная оболочка не полностью закрывает первичную) вторичная защитная оболочка ограждала те зоны первичной защитной оболочки, которые больше подвержены опасности утечек (например, зону расположения проходок). В случае отсутствия вторичной локализации это следует тщательно обосновать на основе ожидаемых выбросов радиоактивных веществ или расчетных доз для всех соответствующих проектных аварий и для условий тяжелых аварий.

4.149. Для максимального повышения эффективности вторичной локализации следует предусмотреть вентиляционную систему с фильтрацией. Следует обеспечить, чтобы такая система быстро снижала давление в объеме между первичной и вторичной защитными оболочками (в объеме локализации) до отрицательного манометрического давления после постулированного исходного события с потерей теплоносителя и поддерживала его даже при наихудшем предполагаемом ветровом режиме. Если в объеме локализации нельзя достичь и поддерживать отрицательное манометрическое давление, то в расчетах следует учесть радиологические последствия нефильтрованной утечки в окружающую среду, которая возникнет в результате этого. При нормальной эксплуатации в объеме локализации следует поддерживать давление ниже атмосферного, что позволяет осуществлять контроль герметичности вторичной защитной оболочки.

4.150. При наличии вторичной локализации следует в максимально возможной степени предотвратить прямые утечки (т.е. пути утечки из защитной оболочки непосредственно наружу без прохода через объем локализации). Для контроля прямых протечек и для контроля герметичности границы вторичной локализации следует установить критерии. Следует проводить периодические проверки, контролируя выполнение данных критериев посредством испытаний.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

4.151. Для ограничения количества прямых утечек в проекте следует предусмотреть, чтобы:

— системы, которые должны проходить через первичную защитную оболочку, были расположены в объеме локализации, либо полностью (по возможности), либо до отсечных клапанов;
— системы рециркуляции (например, системы аварийной подпитки и спринклерные системы) должны быть расположены полностью в объеме локализации;
— большие проходки (например, вентиляционной системы защитной оболочки) были оборудованы тремя отсечными клапанами (один – в защитной оболочке, другой – в объеме локализации и третий – на внешней стороне защитной оболочки). Следует предусмотреть, чтобы пространство между вторым и третьим отсечными клапанами было связано с объемом локализации малой линией, оборудованной двумя параллельными отсечными клапанами, которые находятся в открытом положении при закрытых больших клапанах; тем самым обеспечивая, что даже при единичном отказе отсечных клапанов утечки из защитной оболочки собираются в объеме локализации;
— двери воздушных шлюзов, проходящие через обе герметичные стенки, были оборудованы двойным уплотнением; пространство между уплотнениями при закрытой двери шлюза было связано с объемом локализации, а не с объемом шлюза.

Контроль утечек из линий рециркуляции

4.152. Многие конструкции защитной оболочки включают системы рециркуляции воды в случае аварии от точек сбора внутри границ защитной оболочки либо через теплообменники, либо непосредственно, для обратной закачки в корпус ядерного реактора или в спринклерную систему защитной оболочки. Частично эти системы рециркуляции могут быть расположены за пределами границ защитной оболочки, что потенциально увеличивает вероятность утечки радионуклидов из насосов, клапанов или теплообменников за пределами границ защитной оболочки. При использовании подобных конструкций следует предпринимать меры для минимизации неконтролируемых выбросов радионуклидов в окружающую среду в результате такой утечки, а также меры периодической проверки скорости утечки, а при обнаружении случайных утечек – изолировать их подходящими средствами.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

Контроль утечек в зданиях вне защитной оболочки

4.153. Источники радиоактивного материала, являющиеся результатом утечек из защитной оболочки в аварийных условиях или утечек радиоактивного материала, хранящегося в зданиях, расположенные в зданиях за пределами защитной оболочки, также следует локализовать.

4.154. При разработке проектных основ для этих зданий следует принимать во внимание все возможные события внутреннего и внешнего происхождения, которые могут привести к выбросу радиоактивного материала в окружающую среду.

4.155. Для того чтобы свести к минимуму рассеивание радиоактивного материала в зданиях, следует принимать такие проектные решения, как подразделение зданий на отсеки и обеспечение достаточной герметичности. Для ограничения и контроля выброса радиоактивного материала в окружающую среду следует предусмотреть вентиляционную систему с фильтрацией.

КОНТРОЛЬ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ

Образование водорода

4.156. Водород и кислород образуются в ходе нормальной эксплуатации станции в результате радиолиза воды в активной зоне. После АПТ в атмосфере защитной оболочки может образоваться смесь водорода и воздуха в результате следующих процессов:

— радиолиза воды в активной зоне;
— радиолиза воды в водосборнике или бассейне подавления давления;
— реакции металла с водой в активной зоне;
— химических реакций с материалами в защитной оболочке;
— дегазации водорода, растворенного в теплоносителе первого контура;
— выбросов из водородных газгольдеров, используемых для контроля химии теплоносителя первого контура.

Следует оценить вклад всех этих факторов в образование водорода.

4.157. Расчеты количества образующегося водорода следует производить как для нормальной эксплуатации, так и для условий АПТ. Следует предусмотреть

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

соответствующие допуски на неопределенности различных возможных механизмов образования водорода путем принятия достаточных запасов.

Системы мониторинга или пробоотбора водорода

4.158. В пределах защитной оболочки следует предусмотреть систему мониторинга или пробоотбора водорода для определения концентраций водорода в репрезентативных точках во время аварийных условий, в особенности тех, которые вызваны АПТ. Если нельзя гарантировать перемешивание атмосферы защитной оболочки, то правильное размещение систем мониторинга или пробоотбора является очень важным для того, чтобы показания приборов были репрезентативными в отношении тех зон и точек, где может происходить накопление водорода.

4.159. Если конструкция систем мониторинга или пробоотбора водорода предусматривает отвод радионуклидов за пределы защитной оболочки, то эти системы следует считать расширением защитной оболочки и их следует проектировать таким образом, чтобы выполнялись те же самые критерии, что и для самой защитной оболочки.

Меры по предотвращению неконтролируемого воспламенения водорода

4.160. Во избежание достижения предела воспламеняемости водорода во всей защитной оболочке в целом либо в отдельных ее зонах в любое время в течение или после постулированной АПТ следует предусмотреть системы для удаления водорода или для преднамеренного его воспламенения, гомогенизации или придания ему инертных свойств.

4.161. Если конструкция систем контроля водорода предусматривает отвод радионуклидов за пределы защитной оболочки, то эти системы следует считать расширением защитной оболочки и их следует проектировать таким образом, чтобы выполнялись те же самые критерии, что и для самой защитной оболочки.

Удаление

4.162. Для удаления водорода следует предусмотреть как пассивные меры (такие, как применение пассивных автокаталитических рекомбинационных установок), так и активные (такие, как применение воспламенителей).

4.163. Если анализ показывает, что концентрация водорода будет медленно нарастать в течение продолжительного времени, то приведение в действие

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

активных средств удаления водорода может осуществляться вручную. В этом случае можно предположить, что для работы активных средств будет доступно внешнее электроснабжение. Если анализ показывает с достаточной определенностью, что накопление водорода в условиях АПТ будет происходить медленно, то возможно использование мобильной системы контроля горючих газов (т.е. мобильной рекомбинационной установки). В этом случае в проекте и в правилах эксплуатации следует предусмотреть соответствующие положения об использовании такой системы. Биологическую защиту следует проектировать таким образом, чтобы при подключении мобильной системы не происходило чрезмерного облучения персонала.

4.164. Не требуется постулирования единичного отказа при использовании активных систем контроля водорода в том случае, если:

— можно продемонстрировать практичность мер по ремонту или замене оборудования;
— образование водорода идет достаточно медленно, чтобы не превысить пределы концентрации водорода либо в течение прогнозируемой продолжительности ремонта, либо в течение времени, необходимого для введения в действия замещающих средств (например, ввода в действие мобильной рекомбинационной установки).

Гомогенизация

4.165. Следует обеспечивать, чтобы конструкция защитной оболочки предусматривала либо наличие активных средств (таких, как спринклерная система или смешивающие вентиляторы, сертифицированные для работы в среде смеси горючих газов), либо способствование действию механизмов (таких, как рассеивание в большом объеме или естественная циркуляция), улучшающих равномерность перемешивания атмосферы защитной оболочки в пределах отдельных отсеков и между ними. Это необходимо для того, чтобы обеспечить, что местные концентрации водорода после аварии не достигнут пределов воспламенения. В качестве альтернативы следует показать посредством анализа, что неконтролируемого локального воспламенения не произойдет или что системы безопасности и их элементы выдержат локальное воспламенение.

Придание атмосфере защитной оболочки инертных свойств

4.166. Один из возможных способов избежать воспламенения водорода – это создание в защитной оболочке инертной атмосферы в ходе эксплуатации

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

реактора (обычно добавлением азота). Это главным образом применимо к защитным оболочкам небольших размеров, таким, как применяемые на реакторах с кипящей водой.

МЕХАНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТНЫХ ОБОЛОЧЕК

4.167. Механические устройства защитной оболочки включают в себя элементы самого внешнего барьера, а механические детали (т.е. трубопроводы, клапаны, каналы и проходки) образуют расширение этого барьера. Вместе с конструкцией защитной оболочки эти устройства образуют границу защитной оболочки.

4.168. Следует обеспечивать, чтобы критерии герметичности механических устройств защитной оболочки и ее расширений не противоречили допущениям, используемым в радиологических анализах проектных аварий.

Меры по изоляции систем трубопроводов и каналов защитной оболочки

4.169. Для обеспечения изоляции защитной оболочки следует предусмотреть соответствующие меры по изоляции систем трубопроводов и каналов, которые проходят через границу защитной оболочки (т.е. клапаны и запорные задвижки). Требования по изоляции защитной оболочки установлены в [1], пункты 6.55–6.57.

4.170. Что касается требований по изоляции защитной оболочки, то для каждой проходки следует предусмотреть два барьера. В Приложении II подробно излагаются средства изоляции для систем трубопроводов и каналов.

4.171. Каждую линию, проходящую сквозь защитную оболочку и не являющуюся частью замкнутого контура[10], который либо a) непосредственно связан с теплоносителем реактора в ходе нормальной эксплуатации или в аварийных условиях, либо b) непосредственно сообщается с атмосферой защитной оболочки в ходе нормальной эксплуатации или в аварийных условиях, следует оборудовать двумя последовательно расположенными отсечными клапанами. Следует предусмотреть, чтобы каждый клапан был либо

[10] Замкнутый контур – трубопровод или система каналов, которая проходит сквозь границу защитной оболочки и которая предназначена, чтобы образовать замкнутую цепь внутри или снаружи, или и внутри, и снаружи защитной оболочки в эксплуатационных состояниях и в аварийных условиях.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

нормально закрыт, либо имел устройства для автоматического закрывания. В тех случаях, когда линия непосредственно связана с теплоносителем реактора или атмосферой защитной оболочки, один клапан следует установить внутри защитной оболочки, а другой клапан – снаружи нее. Если в определенных случаях оба клапана, расположенные либо внутри, либо снаружи защитной оболочки, могут обеспечить равноценный барьер (т.е. соответствующий всем проектным требованиям), это также может считаться приемлемым решением. Следует предусмотреть надежное и независимое приведение в действие каждого клапана. Отсечные клапаны следует располагать как можно ближе, по мере возможности, к конструктивной границе защитной оболочки.

4.172. В контурах, которые замыкаются либо внутри, либо снаружи защитной оболочки, следует предусмотреть, по меньшей мере, по одному отсечному клапану на каждой проходке за пределами защитной оболочки. Следует обеспечивать, чтобы этот клапан был либо автоматическим, либо нормально закрытым или дистанционно управляемым клапаном[11]. В тех случаях, когда отказ замкнутой системы предполагается как постулированное исходное событие или как следствие постулированного исходного события, рекомендации предыдущего пункта относятся к каждой линии замкнутого контура.

4.173. 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.

---

[11] Автоматический клапан – клапан или задвижка, который может привестись в действие либо по сигналу системы защиты или других контрольно-измерительных систем без вмешательства оператора, или под воздействием самой рабочей среды. Например, некоторые типы обратных клапанов считаются автоматическими клапанами. Нормально закрытый клапан – это клапан, который закрыт с применением мер активного административно-технического контроля (например, клапан, который 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 - клапан или задвижка, который приводится в действие оператором с пульта управления и, в некоторых случаях, с дополнительных пунктов управления.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

4.174. Исключения из вышеупомянутых рекомендаций могут быть сделаны для малых заглушенных измерительных линий, которые проходят сквозь защитную оболочку. Для этих линий достаточно установить одиночный управляемый вручную клапан за пределами защитной оболочки. Приемлемо наличие измерительных линий, которые закрыты (т.е. не сообщаются с атмосферой) и расположены как внутри, так и снаружи защитной оболочки, не оборудованных отсечными клапанами при условии, что они проектируются таким образом, чтобы выдержать проектные аварии защитной оболочки. Помещения, куда выходят эти линии, следует оборудовать фильтровентиляционной системой для поддержания давления на уровне ниже атмосферного. Такие помещения и оборудование в пределах них следует проектировать таким образом, чтобы они выдерживали повышенные уровни температуры и влажности вследствие возможной утечки из этих линий.

4.175. Необходимость изоляции защитной оболочки в аварийных условиях и необходимость эксплуатации систем безопасности, которые проходят через границу защитной оболочки, может привести к противоречию проектных требований. В таких случаях необходимость изоляции следует сопоставить с необходимостью готовности систем безопасности и необходимостью избежать развития аварийных условий. Для решения этой проблемы для внутреннего изоляционного барьера можно использовать обратные клапаны, однако использование двух последовательно установленных обратных клапанов не следует рассматривать в качестве приемлемого метода изоляции.

4.176. Для замкнутых систем, которые проходят сквозь защитную оболочку, а также и для изолированных частей трубопровода, который может быть подвергнут избыточному давлению в результате повышения температуры в атмосфере защитной оболочки при проектной аварии, следует предусмотреть защиту от избыточного давления.

4.177. Расширения границы защитной оболочки следует проектировать и изготавливать для достижения уровня характеристик, которые, по меньшей мере, эквивалентны характеристикам самого барьера защитной оболочки.

4.178. Для систем или трубопроводов, которые нормально закрыты относительно атмосферы защитной оболочки, но которые могут открываться в некоторых остановленных состояниях реактора (например, разгерметизация границы парогенератора в остановленном состоянии или транспортной трубы для топлива, когда бассейн отработавшего топлива расположен вне защитной оболочки) и для которых изоляция может быть обеспечена только одним из способов:

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

— следует продемонстрировать герметичность существующих средств изолирования;
— в качестве средства изоляции следует использовать специализированное мобильное устройство;
— разгерметизацию таких систем следует производить только в тех случаях, когда риск для безопасности достаточно низок.

4.179. Особое внимание следует уделить устройствам изолирования защитной оболочки следующих систем:

— таких систем, как линии аварийной подпитки и линии аварийного охлаждения, которые связаны с первым контуром и которые могут транспортировать радионуклиды за пределы защитной оболочки в случае проектных аварий;
— таких систем, которые могут транспортировать аэрозольные радионуклиды из атмосферы защитной оболочки за пределы защитной оболочки в случае проектных аварий (например, системы, используемые в некоторых конструкциях для перемешивания атмосферы в защитной оболочке во избежание воспламенения водорода);
— таких систем, которые являются вспомогательными системами систем, важных для безопасности (внутри защитной оболочки), и из которых, в случае утечки, за пределы защитной оболочки могли бы выйти текучие среды с высокой активностью (например, в некоторых конструкциях – система водяного охлаждения компонентов, система промывки водосборника защитной оболочки или система отбора проб).

4.180. Следует обеспечить, чтобы системы, связанные с первым контуром при нормальной эксплуатации (т.е. системы фильтрации первого контура или, в некоторых конструкциях, система контроля химии и объема), и системы, связанные с атмосферой защитной оболочки, автоматически изолировались в аварийных условиях при условии, что они не необходимы для безопасности.

4.181. Если клапаны, используемые для нормальной эксплуатации, также используются для изоляции защитной оболочки, то следует обеспечить, чтобы они отвечали тем же проектным требованиям, что и система изоляции защитной оболочки.

Отсечные клапаны

4.182. Чтобы достичь цели ограничения любого выброса радиоактивных веществ за пределы защитной оболочки, изолирующие устройства следует

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

проектировать с определенной герметичностью и временем закрытия. При определении герметичности и времени закрытия следует принимать во внимание количества потенциальных выбросов радиоактивных веществ. При выборе между пневматическим приводом и приводом от электродвигателя следует принимать во внимание требования к клапану с точки зрения достижения безопасного положения при потере питания и необходимое время закрытия. Может оказаться необходимым ограничивать скорость закрытия клапанов или задвижек, в особенности на более крупных проходках, чтобы обеспечить их надлежащее функционирование и плотное закрывание.

4.183. Следует обеспечить, чтобы предусмотренные в проекте меры для проведения испытаний на герметичность (таких устройств, как распылительные головки и измерительные испытательные линии) позволяли проводить проверку каждого отсечного клапана. Любые возможные исключения следует полностью обосновывать.

Проходки

4.184. Проходки защитной оболочки следует проектировать из расчета тех же самых нагрузок и комбинаций нагрузок, что и конструкцию защитной оболочки, а также сил, возникающих в результате перемещений труб, или случайных нагрузок (ссылка [1], пункты 6.51–6.54).

Проходки трубопровода

4.185. В механической конструкции трубных проходок, включая отсечные клапаны, следует принимать во внимание нагрузки, создаваемые системой трубопроводов, а также нагрузки, создаваемые защитной оболочкой. Особое внимание следует уделять таким сложным устройствам, как металлические сильфоны. Для этих устройств с целью проверки индивидуальных трубных проходок на герметичность следует использовать такие средства, как ниппели или двойные уплотнения.

4.186. Следует обеспечить наличие доступа к трубным проходкам для проведения испытаний на герметичность индивидуальных проходок.

Электрические проходки

4.187. Следует обеспечить герметичность проходок через защитную оболочку для силовых электрических кабелей и приборных кабелей. Средства

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

обеспечения герметичности этих проходок могут базироваться на следующих конструкциях:

(a) *Кабельная проходка из закаленного стекла.* Конструкция кабельной проходки из закаленного стекла состоит из электропроводящих стержней, заделанных в диске из закаленного стекла, прикрепленного фланцем к защитной оболочке. Кабели присоединяются к стержням, которые выходят с обеих сторон стеклянного диска и обеспечивают передачу электроэнергии. Стекло обеспечивает электрическую изоляцию между индивидуальными стержнями и выполняет функцию герметика. Для обеспечения герметичности сборки в конструкции следует предусмотреть двойные уплотнения по фланцу. Следует обеспечить, чтобы эти проходки были сменными и доступными для индивидуальной проверки на герметичность проектным давлением.

(b) *Находящиеся под давлением и постоянно контролируемые по давлению проходки.* Следует обеспечить, чтобы у проходок под давлением, как правило, внутреннее давление было выше, чем давление внутри защитной оболочки при проектных авариях, что дает возможность непрерывно контролировать герметичность. В любом случае, следует обеспечить, чтобы давление было не ниже давления, используемого при проверке скорости утечки из защитной оболочки. При проектировании следует оценить и принять в расчет воздействие повышенной температуры на проектное давление текучей среды внутри проходки.

(c) *Проходки с герметизацией впрыском герметика.* Проходки этого типа проверяются на утечку при комплексных испытаниях на герметичность.

4.188. Следует отдавать предпочтение таким конструкциями электрических проходок, которые позволяют производить индивидуальную проверку каждой проходки.

4.189. При выборе материалов для электрических проходок необходимо принимать во внимание тепловую энергию, выделяемую электрическими кабелями. Следует использовать термостойкие и невоспламеняющиеся материалы. Следует обеспечить, чтобы проходки с герметизацией впрыском герметика, по меньшей мере, не поддерживали горение.

Воздушные шлюзы, двери и люки

4.190. Проходки (воздушные шлюзы защитной оболочки) для доступа персонала или оборудования внутрь защитной оболочки должны быть оборудованы воздушными шлюзами с дверями с системой блокировки, которая

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

обеспечивает, что при работе реактора и в случае проектной аварии, по крайней мере, одна из дверей будет закрыта (ссылка [1], пункт 6.58). Кроме того, они должны быть спроектированы таким образом, чтобы предотвратить любое чрезмерное облучение операторов в эксплуатационных состояниях станции.

4.191. Обе двери воздушного шлюза следует спроектировать таким образом, чтобы они выдерживали те же самые условия на станции, что и защитная оболочка. При проектировании внешней двери не нужно принимать во внимание локальные кратковременные эффекты, такие, как воздействие открытого пламени при горении водорода.

4.192. Следует обеспечить, чтобы камера шлюза, заключенная между двумя дверями, имела такие размеры, чтобы сделать возможным внос-вынос необходимого ремонтного оборудования и проход достаточного числа сотрудников, чтобы избежать необходимости слишком часто открывать воздушную пробку при останове станции и техническом обслуживании.

4.193. Следует обеспечить, чтобы внутренняя дверь воздушного шлюза имела герметичную конструкцию. Каждую дверь следует оснастить двойными уплотнениями, причем следует обеспечить возможность проверки герметичности дверей и пространства между уплотнениями. При использовании надувных уплотнений следует устанавливать аварийную сигнализацию по падению давления.

4.194. Люки подачи оборудования – это большие отверстия в конструкции защитной оболочки, которые находятся в нормально закрытом положении. Их конструкция имеет, как правило, болтовой фланец, герметичность которого обеспечена посредством мягких эластомерных уплотнений. Как правило, следует обеспечивать двойные уплотнения, позволяющие производить контроль герметичности. При разработке конструкции люков подачи оборудования следует принимать во внимание нагрузки и деформации из-за тепловых эффектов. Для подачи крупного оборудования может возникнуть необходимость открыть люки подачи оборудования в некоторых состояниях реактора, отличных от полного останова, но при которых риск является достаточно низким. При таких условиях защитную оболочку следует вскрывать только в том случае, если возможно предусмотреть быстрое закрытие люков подачи оборудования, соответствующее возможной кинетике аварий, которые рассматриваются в проектных основах применительно к данному состоянию реактора.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

4.195. Следует обеспечить, чтобы отверстия защитной оболочки (т.е. проходки, воздушные шлюзы и люки), как правило, были закрытыми с целью сведения к минимуму активных мер, необходимых для изоляции защитной оболочки в случае аварии. Исключения разрешаются, если они необходимы по эксплуатационным причинам и при условии, что отверстия могут быть быстро и надежно закрыты в соответствии с установленными критериями приемлемости, которые применимы к такой аварии. Следует иметь устройства, которые будут показывать состояние отверстий защитной оболочки.

МАТЕРИАЛЫ

Бетон

4.196. Следует обеспечить, чтобы бетон обладал качественными и эксплуатационными характеристиками (прочность, пористость и непроницаемость) в соответствии с его использованием. Соответственно, следует обеспечить, чтобы качество бетона, используемого для конструкций защитной оболочки, было высоким, соответствующим функции безопасности защитной оболочки. Проектные решения будут зависеть от концепции защитной оболочки: как правило, бетонная защитная оболочка с напрягающими канатами обеспечивает как прочность, так и герметичность, в то время как конструкция защитной оболочки из железобетона обычно обеспечивает только прочность, в то время как ее стальная облицовка обеспечивает герметичность.

4.197. Следует принимать во внимание проектную прочность определенной марки бетона, рассчитанную на то, чтобы выдерживать нагрузки (напряжение сжатия и тепловые нагрузки) и воздействие условий окружающей среды (тепла, влажности и излучения) в результате проектной аварии. Отсюда – желательность составления жестких технических условий на бетон в части его прочности и непроницаемости.

4.198. Следует обеспечить, чтобы для всех электрических проходок, для таких больших проходок, как люки подачи оборудования и в месте соединения защитной оболочки с опорной плитой, применялся бетон с соответствующими показателями предела прочности при изгибе, теплового расширения и предела прочности при сжатии.

4.199. Следует обеспечить, чтобы в предварительно напряженных защитных оболочках бетон оставался в предварительно напряженном состоянии даже в аварийных условиях. Следует использовать такие составляющие бетона,

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

которые будут ограничивать ползучесть или усадку в течение многих лет при обеспечении малой пористости. При проектировании следует оценить и принять в расчет возможность потери предварительного напряжения тросами натяжения защитной оболочки в течение срока службы станции.

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

4.201. Следует обеспечить, чтобы процессы проектирования и строительства предотвращали развитие трещин или зон с высокой скоростью протечки.

4.202. При выборе и разработке типов бетона необходимо произвести оценку эффектов старения (пункт 4.39 и ссылка [1], пункт 5.47).

Металлические материалы

4.203. Следует обеспечить, чтобы металлические материалы, используемые для систем защитной оболочки, включая сварные швы, имели высокое качество; следует использовать пригодные и сертифицированные материалы, которые соответствуют национальным нормам безопасности.

4.204. При выборе металлических материалов следует принимать во внимание следующие соображения:

— тепловые и механические нагрузки;
— химические взаимодействия, в том числе с химическими веществами, используемыми в спринклерных системах защитной оболочки;
— сопротивление хрупкому разрушению;
— коррозионная стойкость.

4.205. Металлические материалы, такие как цинк и алюминий, которые могут вырабатывать водород при контакте с водой или паром, использовать внутри защитной оболочки не следует. Если применение таких материалов в конструкции необходимо, то их использование следует ограничивать, а эффекты выработки водорода следует анализировать.

Мягкие герметизирующие материалы

4.206. Как правило, мягкие герметизирующие материалы используются во многих местах защитных оболочек, таких как уплотнение задвижек системы

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

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 условиях проектных аварий следует подтверждать соответствующим образом. Потенциально опасными механизмами воздействия на мягкие герметизирующие материалы являются охрупчивание и образование трещин из-за высоких температур и облучения, разложение под воздействием влажности и пара и набухание или усадка из-за колебаний температуры. Особое внимание следует уделить защите этих материалов от прямого воздействия горящего водорода и/или накопления радиоактивных аэрозолей. В экстремальных условиях такие материалы могут деградировать в такой степени, что изменятся их механические свойства.

4.207. Следует оценивать ожидаемые сроки службы мягких герметизирующих материалов и механизмов старения, которые отрицательно влияют на их характеристики, и устанавливать соответствующую периодичность замены (пункт 4.39). Следует обеспечить, чтобы конструкция герметизирующих элементов допускала простоту их проверки и замены.

Теплоизоляционные материалы

4.208. В случае ухудшения характеристик теплоизоляционных материалов ни одна из функций безопасности не может ставиться под угрозу. Эти материалы следует устанавливать и закреплять таким образом, чтобы предотвращать ослабление крепления и, как следствие этого, возможное засорение решеток и клапанов.

4.209. В частности, материалы, используемые для теплоизолирования трубы и баков внутри защитной оболочки, следует проектировать и выбирать таким образом, чтобы достичь следующего:

(a) свести к минимуму образование обрывков, которые могут скопиться на полах защитной оболочки и привести к закупорке водосборника или повреждению рециркуляционных насосов;
(b) обеспечивать, в случае необходимости, простоту проведения дезактивации;
(c) исключить возникновение пожарной опасности;
(d) свести к минимуму выброс токсичных газов во время их нагревания при пуске.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

4.210. Следует произвести оценку механизмов старения, которые воздействуют на теплоизоляционные материалы, и установить соответствующую периодичность замены (пункт 4.39).

Материалы для покрытий и облицовки

4.211. Выбор материалов для покрытий и облицовки (такие как краски, герметики и эпоксидные смолы) следует производить таким образом, чтобы эти материалы не препятствовали осуществлению нормальной эксплуатации или функций безопасности, например, в результате старения, засоряя фильтры водосборников, или в результате образования органических соединений иода. С целью облегчения дезактивации стен следует использовать соответствующие краски и покрытия.

4.212. Если для улучшения герметичности конструкции защитной оболочки применяются облицовки из органических материалов, то их следует выбирать таким образом, чтобы они выдерживали тепловые нагрузки и нагрузки от воздействия давления, а также окружающие условия в защитной оболочке без потери своей функции безопасности. Следует предусмотреть меры управления старением этих органических облицовок, включая меры по проведению технического обслуживания и контроля состояния.

4.213. Выбор лакокрасочных материалов и материалов покрытий следует производить таким образом, чтобы исключить возникновение пожарной опасности.

4.214. При выборе лакокрасочных материалов и материалов покрытий следует учитывать влияние разложения их растворителей в водосборнике на летучесть иода.

КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ

4.215. Для обеспечения глубокоэшелонированной защиты и повышения общей надежности систем защитной оболочки следует обеспечить наличие контрольно-измерительных приборов с целью:

(a) обнаружения отклонений от нормальной эксплуатации;
(b) контроля устойчивости конструкции защитной оболочки;
(c) контроля герметичности и проверки целостности;
(d) контроля работоспособности систем защитной оболочки;

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

(e) обеспечения сигналов запуска систем защитной оболочки;
(f) послеаварийного контроля.

Обнаружение отклонений от нормальной эксплуатации

4.216. В Приложении I даны специфические рекомендации по конструкции контрольно-измерительных систем для контроля защитной оболочки с целью раннего обнаружения отклонений от нормальной эксплуатации. См. также раздел 6 по контрольно-измерительным приборам для обнаружения и контроля условий тяжелой аварии.

Контроль конструкции защитной оболочки

4.217. Внутри защитной оболочки следует размещать контрольно-измерительные приборы для непосредственного контроля любых деформаций (радиальных, вертикальных или периферических) или перемещений конструкций защитной оболочки или ее стенок.

4.218. Для стенок из предварительно напряженного железобетона следует обеспечить наличие средств 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. Также следует производить замер температур в конкретных условиях, чтобы помочь интерпретации результатов измерения давления при испытаниях на опрессовку.

4.219. На опорной плите защитной оболочки или на соответствующем ее уровне следует установить соответствующие контрольно-измерительные приборы для измерения сейсмических параметров.

Контрольно-измерительные приборы для контроля герметичности

4.220. Внутри защитной оболочки следует установить соответствующие контрольно-измерительные приборы для проведения периодических испытаний на герметичность. В число этих приборов следует включать приборы для контроля давления, температуры, влажности и расходов. Для стальных защитных оболочек также следует измерять температуру стали. Разработчику следует определять количество и места установки приборов в соответствии ожидаемыми условиями окружающей среды. Руководящие материалы по контролю скорости утечек даны в разделе 5.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

4.221. Для обнаружения любых больших открытий в границе давления защитной оболочки, вызванных отказами оборудования или ошибкой оператора, следует оборудовать защитную оболочку средствами для контроля больших утечек (например, путем оценки массы атмосферы защитной оболочки при помощи устройств для измерения давления и температуры). Руководящие материалы по контролю больших утечек даны в пункте 5.21.

4.222. Любые утечки из защитной оболочки, которые не собираются в здании, оборудованном устройствами фильтрации, так называемые прямые утечки, следует тщательно контролировать с целью обеспечения того, что любая утечка непосредственно в атмосферу будет обнаружена.

Контроль работоспособности систем защитной оболочки

4.223. Для контроля работоспособности систем защитной оболочки, используемых для поглощения энергии и для обращения с радионуклидами, следует обеспечить наличие соответствующих контрольно-измерительных приборов.

4.224. Работоспособность систем защитной оболочки следует проверять при помощи следующих средств:

— непрерывного контроля и отображения на блочном щите управления основных параметров, важных для безопасности (единый комплексный монитор критических параметров безопасности используется во многих проектах реакторов);
— в отношении систем подавления энергии – за счет контроля положения клапанов, состояния элементов в эксплуатационных состояниях и контроля расхода текучих сред;
— в отношении систем обращения с радионуклидами – за счет контроля положения отсечных клапанов и дверей, давления в надувных уплотнениях воздушного шлюза и уровня воды в питательных баках спринклерной системы;
— путем, например, измерения расходов текучих сред в некоторых системах, герметичности систем защитной оболочки и эффективности аэрозольных или иодных фильтров.

Приведение в действие и работа систем защитной оболочки

4.225. В случае значительного выброса радиоактивного материала в защитную оболочку (такого, как в АПТ) сигналы для приведения в действие

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

систем защитной оболочки (таких, как системы для подавления энергии, обращения с радионуклидами и контроля горючих газов) следует получать – в зависимости от конструкции – по величинам таких параметров, как:

— высокое давление и/или высокий уровень излучения в защитной оболочке;
— низкое давление в системе теплоносителя реактора;
— малый коэффициент запаса недогрева в системе теплоносителя реактора;
— низкий уровень воды в корпусе реактора под давлением.

4.226. Обычно многие из этих сигналов используются в системе защиты реактора для приведения в действие автоматической изоляции защитной оболочки или систем, важных для безопасности (таких как спринклерные системы, вентиляционные системы и активные дожигатели водорода).

4.227. Для того, чтобы начать осуществление автоматической изоляции или для того, чтобы начать осуществление изоляции по команде оператора с блочного щита управления следует использовать сигналы по следующим параметрам:

— высокие уровни излучения или радиоактивного загрязнения в атмосфере защитной оболочки;
— высокие уровни излучения в воде водосборника.

4.228. Линии, которые проходят через защитную оболочку и которые необходимы для эксплуатации систем безопасности в аварийных условиях, не следует изолировать при автоматической изоляции защитной оболочки. Для того, чтобы обеспечить, что любой выброс радиоактивного материала за пределы защитной оболочки не превышал пределы, установленные для эксплуатационных состояний станции и проектных аварий, следует использовать иные средства.

4.229. Помимо тех событий, где требуется изоляция защитной оболочки, имеются и другие события, для которых нужна только индивидуальная изоляция поврежденных линий, чтобы ограничить выброс радиоактивного материала из защитной оболочки в окружающую среду. Так обстоит дело в случае разрыва за пределами защитной оболочки трубопровода, переносящего радиоактивный материал и проходящего через защитную оболочку, либо в случае отказа в месте сочленения двух взаимосвязанных систем (например, разрыва трубки теплообменника со стороны трубопровода, подающего в теплообменник охлаждающую воду), что

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

приводит к выбросу радиоактивного материала из системы, расположенной внутри защитной оболочки, в систему, находящуюся за ее пределами. Приведение в действие изолирующих устройств следует осуществлять по изменению величин соответствующих параметров, таких как:

— уровни излучения или аэрозольного загрязнения;
— изменение давления;
— изменения температуры.

4.230. Для всех линий, не связанных с эксплуатацией систем безопасности, следует соблюдать следующие критерии:

(a) следует обеспечивать, чтобы линии, которые проходят через границу защитной оболочки, автоматически изолировались, когда параметры процесса указывают на условия АПТ;
(b) следует обеспечивать, чтобы линии, которые сообщаются с атмосферой защитной оболочки, автоматически изолировались, когда превышен заданный уровень излучения в атмосфере защитной оболочки;
(c) следует обеспечивать, чтобы линии, которые сообщаются с водосборником защитной оболочки и проходят через защитную оболочку, изолировались, когда превышен заданный уровень излучения в воде водосборника;
(d) следует обеспечивать, чтобы линии, которые связаны с системой теплоносителя реактора через теплообменник (такие, как паропроводы острого пара в корпусном водо-водяном реакторе), изолировались, когда в них превышен заданный уровень излучения.

Послеаварийный контроль и отбор проб

4.231. Для надежного контроля условий окружающей среды (таких, как давление, температура, уровень воды в водосборнике и уровень излучения) в границах защитной оболочки в ходе аварии и после нее следует применять контрольно-измерительные приборы. Следует обеспечивать пригодность этих контрольно-измерительных приборов для работы в ожидаемых условиях окружающей среды. Руководящие материалы по контролю концентраций водорода приводятся в пунктах 4.158, 4.159, 6.29 и 6.30.

4.232. Для представления информации, позволяющей операторам оценить состояние защитной оболочки, следует установить соответствующие контрольно-измерительные приборы.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

4.233. Информацию послеаварийного контроля и информацию о положении отсечных клапанов следует представлять на блочном щите управления.

4.234. В проекте следует предусмотреть возможности взятия проб атмосферы защитной оболочки и воды водосборника в соответствующих местах. Следует обеспечивать, чтобы используемые пробоотборники были рассчитаны на работу в ожидаемых условиях защитной оболочки, причем их следует установить таким образом, чтобы избежать байпассирования защитной оболочки в случае их разрыва. Следует обеспечивать, чтобы они были спроектированы таким образом, чтобы не допустить превышения доз профессионального облучения эксплуатирующего их персонала.

ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Электропитание

4.235. Системы защитной оболочки следует проектировать таким образом, чтобы они продолжали выполнять свои функции и при потере внешнего электроснабжения с учетом единичного отказа. Электрические отсечные клапаны, которые закрываются при подаче электропитания, для условий проектной аварии должны быть обеспечены источниками гарантированного электропитания.

Системы сжатого воздуха

4.236. Отсечные клапаны защитной оболочки с четко обозначенной безопасной позицией следует проектировать таким образом, чтобы при потере давления воздуха они переходили в безопасное положение.

4.237. Если в течение проектной аварии требуется работа пневматических клапанов, то следует продемонстрировать автономность системы сжатого воздуха (например, за счет наличия резервных воздушных ресиверов). В противном случае, следует рассмотреть использование установки резервной системы сжатого воздуха. В том случае, если резервные воздушные ресиверы установлены внутри защитной оболочки, то при их проектировании следует принимать во внимание повышенное внутреннее давление, которое вызывается высокими температурами внутри защитной оболочки в ходе проектных аварий.

4.238. Системы сжатого воздуха оболочки следует проектировать таким образом, чтобы избежать как байпассирования защитной оболочки, так и ее

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

наддува. Поэтому не следует, чтобы системы безопасности, работа которых требуется в долгосрочной перспективе после проектной аварии, зависели от систем сжатого воздуха для выполнения своих функций безопасности. Во избежание постепенного наддува защитной оболочки из-за протечек систем сжатого воздуха, следует рассмотреть возможность установки специализированной послеаварийной системы сжатого воздуха для питания приборов внутри защитной оболочки воздухом, откачиваемым из защитной оболочки.

5. ИСПЫТАНИЯ И ПРОВЕРКИ

5.1. Чтобы подтвердить, что системы защитной оболочки выполняют проектные требования и требования безопасности, их ввод в эксплуатацию и эксплуатационные испытания и проверки следует выполнять так, как это изложено ниже.

ИСПЫТАНИЯ ПРИ ВВОДЕ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ

5.2. Испытания при вводе в эксплуатацию защитной оболочки следует производить до физического пуска реактора, чтобы продемонстрировать конструкционную целостность защитной оболочки, определить скорость утечки из границ защитной оболочки и подтвердить функционирование сопутствующего оборудования.

Испытание конструкционной целостности

5.3. Для того чтобы продемонстрировать конструкционную целостность всех частей границы защитной оболочки (включая расширения и проходки) и систем защитной оболочки, следует выполнить опрессовку. Если конструкция защитной оболочки состоит из двух герметизирующих стенок, причем обе стенки подвергаются воздействию давления, то опрессовку следует проводить на обеих стенках.

5.4. Опрессовку следует производить при определенном давлении, которое учитывается в соответствующих нормах расчета для используемого материала и которое равно, по меньшей мере, проектному давлению. Следует обеспечить,

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

чтобы значение температуры испытания не приближалось к температуре перехода металлического материала из пластичного состояния в хрупкое.

Комплексные испытания на герметичность

5.5. После проведения испытаний на конструкционную целостность следует провести испытания на герметичность, чтобы показать, что скорость утечки из границ защитной оболочки не превышает заданную максимальную скорость утечки. Данное испытание следует проводить при нахождении элементов защитной оболочки в состоянии, соответствующем условиям, которые будут преобладать после аварии, для подтверждения того, что заданная скорость утечки в этих условиях не будет превышена.

5.6. 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:

(a) если эксплуатационные испытания должны выполняться при давлении ниже, чем проектное давление, то при величинах давления между величиной, выбранной для эксплуатационных испытаний, и положительным проектным давлением; или
(b) при проектном давлении защитной оболочки, если эксплуатационные испытания должны выполняться при этом давлении.

5.7. При выборе величин(ы) испытательного давления следует принимать во внимание необходимость надежно подтверждать правильность скорости утечки, принятой в анализе безопасности, в течение всего срока службы станции для всего диапазона расчетных давлений.

5.8. При проектировании следует учитывать необходимость проведения предпусковых и пусконаладочных и периодических испытаний, при этом следует определить все элементы, которые могут быть повреждены в ходе испытаний. В проект следует включить средства, необходимые для опрессовки защитной оболочки и для сброса давления из нее, а также соответствующие контрольно-измерительные приборы для проведения испытаний.

5.9. Один из способов определения скорости утечки – это метод абсолютного давления, при котором расход утечки определяется измерением падения давления в зависимости от времени. При этом методе следует производить

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

непрерывное измерение температуры и давления атмосферы защитной оболочки, температуры и давления воздуха атмосферы окружающей среды и влажности атмосферы защитной оболочки, и полученные результаты вводить в расчеты в виде коэффициентов. Следует предусмотреть наличие средств для обеспечения однородности температуры и влажности атмосферы защитной оболочки.

5.10. Для определения репрезентативных атмосферных условий в различных зонах защитной оболочки в ней следует выбрать соответствующие позиции для контрольно-измерительных приборов и установить их стационарно либо устанавливать их при необходимости.

5.11. Для защитных оболочек с двойной стенкой один из способов определить прямую скорость утечки из защитной оболочки в окружающую среду (т.е. если вода или газ протечек не собираются в кольцевом зазоре между внутренней и внешней герметичными стенками) – посредством вычислений. Эти вычисления позволяют определить разность между a) суммарной скоростью утечки из внутренней защитной оболочки, которая определяется при проведении испытаний на герметичность внутренней защитной оболочки (которые включают в себя утечку из внутренней защитной оболочки в кольцеобразное пространство и утечку из внутренней защитной оболочки в атмосферу), и b) 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

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

(a) изолирующие устройства в системах, сообщающихся с атмосферой защитной оболочки;
(b) изолирующие устройства в линиях гидравлической/пневматической системы, проходящих через защитную оболочку;

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

(c) проходки, которые имеют эластичные или надувные уплотнения и сильфонные компенсаторы, такие как:
- гермошлюзы для прохода персонала;
- воздушные пробки оборудования;
- люки подачи материалов и доступа к оборудованию;
- запасные проходки с болтовым креплением крышек;
- кабельные проходки с эластичными уплотнениями;
- трубные проходки с гибкими сильфонными компенсаторами в соединениях с защитной оболочкой.

Функциональные испытания оборудования и электропроводки в защитной оболочке

5.13. Для подтверждения того, что оборудование всех систем защитной оболочки находится в рабочем состоянии, следует проводить испытания. Исключения могут быть сделаны в том случае, если невозможно продемонстрировать некоторые эксплуатационные характеристики в неаварийных условиях или если такие испытания окажут отрицательное влияние на безопасность.

5.14. 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 ПРОВЕРКИ

5.15. В подтверждение того, что системы защитной оболочки продолжают выполнять проектные требования и требования по безопасности на протяжении всего срока эксплуатации станции, следует производить периодические эксплуатационные испытания и проверки.

5.16. Методы испытаний и периодичность эксплуатационных испытаний следует определять таким образом, чтобы отразить важность для безопасности объектов испытаний. 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.

5.17. Для проведения приемо-сдаточных и эксплуатационных испытаний защитной оболочки давлением и на герметичность следует предусмотреть

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

соответствующие устройства, причем в строительном проекте следует учесть соответствующие нагрузки.

5.18. Общие положения по проведению эксплуатационных проверок приведены в [16]. В остальных пунктах раздела 5 даны дополнительные руководящие материалы применительно к системам защитной оболочки.

Испытания конструкционной целостности

5.19. Для подтверждения того, что конструкция защитной оболочки продолжает выполнять свои функции, как это предусмотрено проектом, следует проводить периодические испытания конструкционной целостности. Следует обеспечить, чтобы испытательное давление имело ту же величину, что и при предэксплуатационных испытаниях, и соответствовать величинам, указанным в соответствующих проектных нормах. При проектировании следует обратить внимание на дополнительные напряжения, вызываемые испытаниями, и в расчеты следует включить определенные запасы, с тем чтобы предотвратить какое-либо ухудшение конструкции защитной оболочки в результате проведения испытаний. При проведении любого испытания конструкционной целостности следует провести испытание на герметичность. Дополнительные руководящие материалы даны в [5][12].

Комплексные испытания на герметичность

5.20. Следует обеспечить, чтобы проект предусматривал возможность проведения периодических эксплуатационных испытаний скорости утечки, чтобы показать, что скорость утечки, принятая в анализе безопасности, обеспечивается на протяжении всего срока эксплуатации станции. Эксплуатационные испытания скорости утечки могут быть сделаны либо:

(a) при давлении, которое позволяет достаточно точно экстраполировать измеренную скорость утечки к скоростям утечки при аварийных давлениях, рассматриваемых в анализе безопасности; или
(b) при проектном давлении защитной оболочки.

5.21. Имеются также методы, позволяющие обеспечить непрерывную оценку общей скорости утечки из защитной оболочки в течение эксплуатации станции

[12] В некоторых государствах испытания конструкционной целостности выполняются с интервалом в каждые 10 лет.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

и получить грубые оценки скоростей утечки из защитной оболочки в аварийных условиях. Такие методы обычно основаны на изменениях давления защитной оболочки или баланса массы в ходе нормальной эксплуатации станции. В некоторых случаях использование этих методов, вместе с широким применением локальных испытаний скоростей утечки в течение останова для перегрузки топлива, может дать основание сократить частоту проведения всеобъемлющих испытаний.

5.22. Следует обеспечить, чтобы проект позволял проводить испытания на герметичность изолирующих устройств, воздушных шлюзов, проходок и продлений защитной оболочки (пункт 5.12).

5.23. Следует обеспечивать, чтобы проект содействовал проведению локальных испытаний, предоставляя доступ к проходкам и включая необходимые связи и отсечные клапаны.

5.24. Для обеспечения большей точности при измерении скорости утечки и повышения обнаружаемости протечек клапанов следует обеспечить возможность испытания индивидуальных клапанов. Это может потребовать установки дополнительных отсечных клапанов.

5.25. Следует обеспечить, чтобы проект предусматривал возможность проведения испытания границы вторичной защитной негерметичной оболочки (вторичная защитная оболочка и окружающее здание). Следует также рассмотреть возможность проведения локальных испытаний на герметичность изолирующих устройств, воздушных шлюзов и проходок.

5.26. В защитных оболочках с бассейном понижения давления следует иметь устройства для периодической оценки любой утечки, которая могла бы привести к байпассированию бассейна, с целью обеспечения того, что байпасный расход утечки через бассейн соответствует значению, которое рассматривается в анализе безопасности.

Функциональные испытания оборудования в системах защитной оболочки

5.27. Следует обеспечить, чтобы проект предусматривал возможность проведения функциональных испытаний оборудования в системах защитной оболочки при нормальной эксплуатации станции.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

Визуальный контроль

5.28. Там, где это технически осуществимо, следует предусмотреть, чтобы конструкция обеспечивала возможность проведения визуального контроля конструкций защитной оболочки (в том числе тросов натяжения в защитных оболочках из предварительно напряженного железобетона), проходок и изолирующих устройств.

5.29. Совместно с каждым из испытаний, определенных в пунктах 5.18-5.24, следует производить визуальный контроль границ защитной оболочки, включая дополнительные устройства и проходки. Визуальный контроль важен для надлежащего контроля эффектов старения.

Испытания работоспособности оборудования

5.30. Следует обеспечить, чтобы проект способствовал проведению контроля или испытаний всего оборудования в системах защитной оболочки с определенной периодичностью, которая отражает их важность для безопасности, или подтверждению тем или иным образом необходимой надежности систем защитной оболочки индивидуально или в целом.

5.31. Возможность проведения испытаний отсечных клапанов в ходе эксплуатации станции, например, приведением их в действие на неполный ход, может внести значительный вклад в обеспечение надежности системы.

6. УЧЕТ ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

6.1. Документ "Безопасность атомных электростанций: проектирование" [1] в пункте 5.31 констатирует, что "Должно уделяться внимание … последовательностям серьезных аварийных событий с использованием комбинации инженерно-технического заключения и вероятностных методов, чтобы выявить те последовательности, для которых могут быть определены разумно осуществимые на практике профилактические или смягчающие меры". Следует обеспечить, чтобы применение предупредительных и

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

смягчающих мер приводило к крайне малой вероятности возникновения аварий с тяжелыми последствиями для окружающей среды.

6.2. Тяжелые аварии следует оценивать посредством метода наилучшей оценки[13]. Следует обеспечить, чтобы в методе наилучшей оценки комбинация допущений, компьютерных программ и методов, выбранных для оценки последствий аварийной последовательности, была такой, чтобы дать разумную уверенность в том, что результаты отразят вероятность возникновения явлений. При использовании метода наилучшей оценки особое внимание следует уделять обеспечению того, что:

— входные параметры находятся в диапазоне того, что можно ожидать на основе существующих знаний;
— компьютерные программы отражают международно-признанный уровень знаний на данный момент, основанный на признанных исследованиях и разработках (в частности, следует добиваться, чтобы моделирование явлений не было спорным);
— в расчет принимаются все существенные аспекты тяжелой аварии (например, путем применения объединенных компьютерных программ, охватывающих гидравлику защитной оболочки и поведение продуктов деления);
— во внимание принимаются неопределенности в вычисленных значениях.

6.3. Следует обеспечить, чтобы область проверки пригодности компьютерных программ, используемых для оценки всех подходящих параметров, проходила проверку на то, что она надлежащим образом охватывает их ожидаемый диапазон изменения. Компьютерные программы не следует использовать вне области проверки их пригодности. Как исключение, использование компьютерных программ вне диапазона проверки их пригодности могло бы, возможно, быть приемлемым в тех аспектах, в отношении которых широко признано, что согласованные данные по ним отсутствуют. Такие исключения следует разрешать только на следующих условиях:

— исключение четко определено;
— для оценки эффектов изменений в моделировании и в допущениях проводится всеобъемлющий анализ чувствительности;

[13] В пунктах 4.104–4.122 ссылки [3] даны рекомендации по проведению анализа безопасности для тяжелых аварий.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

— достоверность результатов проверяется посредством независимой оценки;
— если знания ограничены, то вводятся соответствующие запасы.

6.4. Для существующих станций явления, касающиеся возможных тяжелых аварий и их последствий, следует тщательно анализировать, с тем чтобы определить проектные запасы и меры по управлению авариями, которые могут быть применены для предотвращения или смягчения последствий тяжелых аварий. Следует обеспечить, чтобы осуществление этих мер управления авариями предусматривало полное использование всего имеющегося оборудования, включая альтернативное или разнотипное оборудование, а также оборудование из внешних источников для временной замены элементов, предусмотренных проектом. Кроме того, следует предусмотреть использование дополнительного оборудования для повышения потенциальных возможностей систем защитной оболочки по предотвращению или смягчению последствий тяжелых аварий.

6.5. Для новых станций возможные тяжелые аварии следует учитывать на стадии проектирования систем защитной оболочки. Анализ тяжелых аварий следует направлять на то, чтобы практически избегать возникновения[14] следующих условий:

— условий тяжелой аварии, которые могли бы повредить защитную оболочку на раннем этапе в результате прямого нагрева защитной оболочки, парового взрыва или взрыва водорода;
— условий тяжелой аварии, которые могли бы повредить защитную оболочку на позднем этапе в результате сквозного проплавления опорной плиты или создания избыточного давления в защитной оболочке;
— условий тяжелой аварии со вскрытой защитной оболочкой – особенно в остановленных состояниях;
— условий тяжелой аварии с байпассированием защитной оболочки, такие как условия при разрыве трубы парогенератора или взаимосвязанной системной АПТ.

6.6. Следует обеспечить, чтобы в тех тяжелых авариях, избежать которых практически невозможно, системы защитной оболочки способствовали

[14] В данном контексте вероятность появления определенных условий рассматривается как фактически устраненная, если эти условия не могут физически появится или если эти условия могут с высокой степенью достоверности считаться имеющими крайне низкую вероятность.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

сокращению выбросов радиоактивных веществ до такого уровня, чтобы степень любых необходимых противоаварийных мер за пределами площадки была минимальной.

6.7. Серьезные аварийные условия могут ставить под угрозу живучесть оборудования внутри защитной оболочки вследствие высокого давления, высоких температур, высоких уровней излучения (в оценке значений температур и уровней излучения следует принимать во внимание эффекты осаждения аэрозолей) и опасных концентраций горючих газов. Кроме того, более крупные неопределенности относительно условий в защитной оболочке вследствие тяжелых аварий следует принимать в расчет за счет использования соответствующих запасов при обосновании живучести или при определении защитных мер (таких как ограждение). Эти факторы следует принимать во внимание при подтверждении необходимого уровня живучести оборудования и контрольно-измерительных приборов.

РАБОТА КОНСТРУКЦИИ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ

6.8. Следует обеспечить, чтобы для существующих станций предельная несущая способность (уровень конструкционной целостности III) и удерживающая способность (уровень герметичности II) конструкции защитной оболочки не превышались в тяжелых авариях в той мере, в какой это может быть достигнуто практически осуществимыми средствами. Кроме того, расплав и обломки разрушенной активной зоны следует застабилизировать в пределах защитной оболочки.

6.9. Для определения предельной несущей способности и удерживающей способности при превышении проектного давления следует проанализировать, делать ли общую оценку работы конструкции защитной оболочки, чтобы определить наиболее ограничивающие элементы, чтобы таким образом оценить запасы, и изучать виды отказов конструкции. Для определения возможных механизмов больших утечек следует также рассмотреть локальные эффекты, влияние перепадов температур и конструктивных особенностей. В этой связи особое внимание следует уделять поведению трубных и электрических проходок и мягких герметизирующих материалов.

6.10. Для новых станций целостность и герметичность конструкции защитной оболочки следует обеспечивать для тех тяжелых аварий, которые не могут быть практически устранены (пункт 6.5). При долгосрочной работе защитной оболочки под повышенным давлением величину давления следует ограничить

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

значением ниже значения, соответствующего уровню II для конструкционной целостности.

6.11. Комбинации нагрузок при тяжелых авариях характерны для индивидуальных конструкций, и их следует проанализировать в дополнение к комбинациям нагрузок при проектных авариях. Следует учитывать соответствующие комбинации нагрузок, включая такие, как нагрузки из-за давлений, температур и реакций труб, появляющиеся в результате тяжелых аварий и учтенные в проектных основах. Для этих комбинаций следует соблюдать критерии конструкционной целостности уровня II (см. пункт 4.66 для определений критериев приемлемости). Для комбинаций нагрузок, которые также включают локальные эффекты в результате тяжелых аварий, следует соблюдать критерии конструкционной целостности уровня III. Выполнение критериев уровня герметичности II следует обеспечивать для комбинаций нагрузок, включающих статические нагрузки, временные нагрузки, нагрузки, создаваемые предварительным напряжением конструкции (если это применимо), температурой проведения испытаний и аварийным давлением.

6.12. Следует рассмотреть возможность включения в проект станции следующих средств для повышения способности обеспечить охлаждение материала расплавленной активной зоны и ее обломков и для смягчения последствий взаимодействия расплава с бетоном:

(a) средства затопления полости реактора водой для улучшения процесса охлаждения или для обеспечения достаточного количества воды на ранней стадии аварии для затопления нижней крышки корпуса ядерного реактора и для предотвращения разгерметизации корпуса реактора;
(b) в случае необходимости, защита облицовки гермооболочки и других строительных элементов бетоном;
(c) достаточное пространство пола на опорной плите для разброса обломков активной зоны, что улучшает возможность их охлаждения за счет залива водой;
(d) проектные решения защитной оболочки и полости реактора, направленные на сокращение количества обломков активной зоны, которые достигают верхней части защитной оболочки (т.е. полочек, перегородок и подотсеков);
(e) укрепление конструкции водосборника или полости для улавливания и удержания расплавленного материала активной зоны и ее обломков (ловушка активной зоны);
(f) использование такого типа бетона для пола защитной оболочки, который сводит к минимуму отрицательные последствия из-за взаимодействий

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

между расплавленным материалом активной зоны и ее обломками с бетоном.

ПОГЛОЩЕНИЕ ЭНЕРГИИ В ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКЕ

6.13. Для новых станций следует практически исключить условия тяжелой аварии с выделением большого количества энергии, способные привести к повреждению защитной оболочки. Для эксплуатируемых и для новых станций следует обеспечить надежный сброс давления из системы теплоносителя реактора для предотвращения выброса материала расплава активной зоны и ее обломков и прямого нагрева защитной оболочки, как средство управления аварией.

6.14. Взаимодействие материала расплава активной зоны с водой может вызвать явления с высоким выделением энергии (например, паровые взрывы; см. пункт III-9 Приложения III). Имеется международный консенсус в том, что внутрикорпусные взаимодействия такого типа вряд ли приведут к повреждению защитной оболочки и что, следовательно, не требуется никаких особых мер. Влияния паровых взрывов за пределами корпуса реактора специфичны для конкретной станции и более трудны для прогнозирования. Следовательно, если для данного проекта станции нельзя показать, что угроза, связанная с паровым взрывом, является низкой, то особое внимание следует уделить определению мер управления авариями, чтобы уравновесить риск парового взрыва с необходимостью охлаждения расплавленного материала активной зоны.

6.15. Следует предусмотреть меры предотвращения воспламенения или мгновенного сгорания водорода, которые могут потенциально разрушить системы защитной оболочки (см. также пункты 6.22-6.27).

6.16. В ходе постулированной тяжелой аварии необходимо удалять остаточное тепло во избежание повреждения защитной оболочки. Поскольку различные системы охлаждения, возможно, не будут действовать, то для эксплуатируемых станций следует разработать руководящие принципы управления тяжелыми авариями, чтобы помочь восстанавливать достаточное охлаждение активной зоны и достичь контролируемого состояния (пункты 6.28-6.34). Для этой цели следует учитывать использование всех возможных средств, включая нетрадиционное использование систем безопасности и другого оборудования станции. Если результаты (вероятностного) анализа показывают, что для существующих станций риск избыточного давления в защитной оболочке все еще слишком высок, то следует рассмотреть установку

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

фильтровентиляционной системы защитной оболочки для предотвращения необратимого повреждения защитной оболочки и неконтролируемого выброса радиоактивного материала.

6.17. Следует обеспечить, чтобы для новых станций система поглощения энергии в защитной оболочке была установлена в качестве основного средства выполнения критериев приемлемости конструкционной целостности уровня II для нагрузок, создаваемых давлением в защитной оболочке при авариях, как обсуждалось в пункте 6.10. В тяжелых авариях следует обеспечить независимость систем для поглощения энергии в защитной оболочке и их вспомогательных систем (систем охлаждающей воды и систем электропитания) от систем, используемых для предотвращения расплавления активной зоны. Если это невозможно, то следует предусмотреть, чтобы конструкция защитной оболочки обеспечивала достаточный промежуток времени для мер по восстановлению поврежденных систем поглощения энергии, с тем чтобы гарантировать эксплутационную готовность системы поглощения энергии в условиях тяжелых аварий. Для новых станций системы вентиляции реакторного зала как необходимые предусматривать не следует.

ОБРАЩЕНИЕ С РАДИОНУКЛИДАМИ

6.18. Обращение с радионуклидами, присутствующими в защитной оболочке после тяжелой аварии, аналогично обращению с радионуклидами в случае проектной аварии. В этом случае цель также заключается в том, чтобы ограничить утечку из защитной оболочки и избежать, насколько это возможно, создания нефильтрованных путей утечки в окружающую среду. Главными различиями по сравнению с проектными авариями являются параметры источника выброса (величины и физико-химические формы выбросов радиоактивных веществ в защитную оболочку) и возможность потери работоспособности некоторых систем защитной оболочки.

6.19. Для выбранных последовательностей тяжелых аварий следует произвести оценку возможных выбросов радиоактивных веществ из защитной оболочки для того, чтобы определить любые потенциально слабые места с точки зрения герметичности защитной оболочки и определить пути ликвидации этих слабых мест. Для этого следует использовать метод наилучшей оценки для определения возможных утечек из защитной оболочки и определения систем, которые могут оказаться неработоспособными в каждой из специфических последовательностей развития аварий (например, потенциальная возможность потери функции изоляции защитной оболочки в случае обесточивания станции).

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

6.20. Для существующих станций следует обеспечить фильтрацию любых выбросов из вентиляционной системы защитной оболочки. Более того, следует принять стратегию оптимизации эффективности пассивных средств (таких, как удерживающая способность отсеков и зданий) и активных систем (таких как динамическая локализация посредством внутренней фильтровентиляционной системы, если она имеется).

6.21. Для новых станций следует использовать вторичную защитную негазоплотную оболочку.

КОНТРОЛЬ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ

6.22. В тяжелой аварии в атмосферу защитной оболочки может высвободиться большое количество водорода, возможно превышающее предел воспламеняемости и ставящее под угрозу целостность защитной оболочки. В случае взаимодействий между расплавом активной зоны и бетоном также может произойти выброс угарного газа, что также повышает опасность. Для оценки необходимости установки специальных средств контроля горючих газов, для выбранных последовательностей тяжелых аварий следует провести оценку угроз защитной оболочке, создаваемую такими газами. Следует обеспечить, чтобы эта оценка охватывала выработку, транспортировку и перемешивание горючих газов в защитной оболочке, явления сгорания (диффузионное пламя, мгновенное сгорание и детонация) и последующие тепловые и механические нагрузки, а также эффективность систем для предотвращения аварий и смягчения их последствий.

6.23. Остаются неопределенности в отношении выработки водорода в ходе последовательностей тяжелых аварий; эти неопределенности, по существу, связаны с такими явлениями, как затопление частично поврежденной активной зоны при высоких температурах, как поздняя стадия разрушения активной зоны, проваливание расплава активной зоны в воду, оставшуюся в днище корпуса реактора, и долгосрочное взаимодействие между расплавом активной зоны и бетоном. Для новых станций эти неопределенности следует принимать во внимание при проектировании и размещении средств смягчения последствий сгорания или мгновенного сгорания водорода, а также при проектировании защитной оболочки.

6.24. Эффективность средств смягчения последствий сгорания или мгновенного сгорания должна быть такой, чтобы концентрация водорода в отсеках защитной оболочки была бы постоянно достаточно низкой, чтобы

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

исключить его быстрое мгновенное сгорание или детонацию в общем объеме. Возможными проектными средствами достижения этой цели, могут быть, например, улучшение естественной способности перемешивания атмосферы в защитной оболочке вместе с достаточно большим свободным объемом, пассивные автокаталитические рекомбинационные установки и/или дожигатели, соответственно расположенные в защитной оболочке, и создание инертной атмосферы. Для новых станций количество выработанного водорода следует оценивать на основе предположения о полном окислении оболочек твэлов.

6.25. Следует обеспечить с достаточными запасами герметичность защитной оболочки для наиболее репрезентативных последовательностей аварийных событий для того, чтобы защитная оболочка могла выдержать тяжелые динамические явления, такие, как быстрое локальное мгновенное сгорание водорода, если эти явления нельзя исключить.

6.26. Даже в защитной оболочке с атмосферой инертного газа концентрация водорода и кислорода, выработанных в течение продолжительного времени путем радиолиза воды, может, в конечном счете, превысить предел воспламеняемости. Если эта угроза возможна, то следует установить систему контроля водорода, пассивные водородные рекомбинационные установки или другие соответствующие системы для смягчения последствий воспламенения водорода и контроля (например, системы измерения и контроля кислорода).

6.27. Следует обеспечивать контроль водорода или отбор проб водорода. Также следует контролировать концентрацию других горючих газов и кислорода.

КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

6.28. Для управления тяжелыми авариями следует обеспечить наличие соответствующих контрольно-измерительных приборов и инструкций для того, чтобы направлять действия оператора на введение в действие профилактических или смягчающих мер. Контрольно-измерительные приборы, необходимые для управления тяжелыми авариями, подразделяются на четыре категории:

(1) контрольно-измерительные приборы для контроля общих условий в защитной оболочке;

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

(2) контрольно-измерительные приборы для контроля хода изменений параметров, представляющих интерес, в особенности применительно к тяжелым авариям;
(3) контрольно-измерительные приборы, нужные операторам для выполнения противоаварийных инструкций;
(4) контрольно-измерительные приборы оценки радиологических последствий.

6.29. В ходе тяжелой аварии и после нее, для того чтобы отслеживать общие условия в защитной оболочке и способствовать применению противоаварийных инструкций по управлению тяжелыми авариями, следует контролировать такие важные для защитной оболочки параметры, как давление, температура, концентрация водорода, уровни воды и мощность дозы излучения.

6.30. Для того чтобы отслеживать изменения величин параметров, специфичных для тяжелых аварий, следует учесть необходимость установки контрольно-измерительных приборов для измерения следующих параметров:

— состояния устройств разгрузки давления в активной зоне (таких, как предохранительные клапаны) для как можно более раннего оповещения о возможном повышении давления, вызываемого плавлением активной зоны;
— концентрация горючих газов, чтобы оценивать вероятность их мгновенного сгорания или детонации;
— давления и температуры в широком диапазоне величин для того, чтобы обнаружить возможное повреждение защитной оболочки на поздней стадии аварии;
— уровень воды в водосборнике как свидетельство количества воды, имеющейся для долгосрочной подачи воды в активную зону и для работы спринклерной системы защитной оболочки.

6.31. Для выполнения противоаварийных инструкций оператору следует иметь в своем распоряжении контрольно-измерительные приборы систем защитной оболочки, которые специально предназначены для предотвращения и смягчения последствий тяжелых аварий. В их число могут входить, например:

— фильтровентиляционная система;
— система измерения и контроля горючих газов.

6.32. Оценку радиологических последствий возможной тяжелой аварии следует выполнять оперативно для того, чтобы помочь в принятии решений по

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

долгосрочным действиям для защиты населения (противоаварийные меры за пределами площадки). В число контрольно-измерительных приборов для оценки радиологических последствий могут входить:

— измерители мощности дозы в защитной оболочке и в периферийных зданиях, в которых помещены системы, сообщающиеся с системами первого контура;
— приборы для контроля условий в воде водосборника защитной оболочки (например, температуры и показателя степени кислотности среды);
— приборы контроля радиоактивности благородных газов, иода и аэрозолей в вентиляционной трубе(ах).

6.33. Более крупные неопределенности в отношении того, что касается условий в защитной оболочке после тяжелой аварии, следует учитывать посредством принятия соответствующих запасов в диапазонах действия контрольно-измерительных приборов, в той области, для которой подтверждено сохранение их работоспособности, или за счет применения мер защиты приборов (таких, как ограждение). Вследствие этих неопределенностей и различных параметров, которые может оказаться необходимым контролировать в ходе тяжелых аварий, использование контрольно-измерительных приборов, предназначенных для применения в случае проектных аварий, может оказаться как возможным, так и невозможным. Если контрольно-измерительные приборы, предназначенные для использования в случае проектных аварий, планируется использовать в тяжелых авариях, область работоспособности контрольно-измерительных приборов систем защитной оболочки следует расширить настолько, насколько это практически возможно, для того, чтобы справиться с условиями в защитной оболочке, ожидаемыми в тяжелых авариях.

РУКОВОДСТВО ПО УПРАВЛЕНИЮ ТЯЖЕЛЫМИ АВАРИЯМИ

6.34. Руководство по управлению тяжелыми авариями (severe accident management guidelines – SAMGs) прежде всего следует направить на поддержание или восстановление работоспособности защитной оболочки. Руководство по управлению тяжелыми авариями следует разрабатывать в согласовании с организациями, ответственными за противоаварийные мероприятия на площадке и за ее пределами. Следует предусмотреть, что руководство по управлению тяжелыми авариями дополняет, но не заменяет собой проектные меры по предотвращению отказов систем защитной оболочки в ходе тяжелой аварии или для смягчения последствий такой аварии.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

Дополнение

КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ

А.1. В этом дополнении даны рекомендации по измерению параметров систем защитной оболочки, что позволяет оператору диагностировать развивающиеся отклонения от нормальной эксплуатации; в особенности для обнаружения выбросов теплоносителя или других радиоактивных текучих сред жидкостей в пределах защитной оболочки. Оператор может оценить эти параметры и предпринять корректирующие действия на ранней стадии, чтобы предотвратить развитие незначительного отказа в серьезный отказ на станции или даже в аварийное состояние. Кроме того, эти измеренные параметры используются в качестве входных в автоматическую систему изоляции защитной оболочки и другие системы защиты реактора.

ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

А.2. Типичные условия, вызывающие отклонения от нормальной эксплуатации, включают:

— выбросы текучих сред с высокой температурой;
— утечки текучих сред под высоким давлением;
— присутствие радиоактивных газов или жидкостей;
— пожар;
— механические отказы элементов.

А.3. Физические параметры, которые следует контролировать в пределах защитной оболочки, различны для различных реакторных систем. Параметры, которые обычно подлежат контролю, включают:

— температуру атмосферы защитной оболочки и сливаемых текучих сред;
— давление в здании защитной оболочки;
— влажность в здании защитной оболочки;
— концентрацию водорода в здании защитной оболочки;
— уровни воды в дренажах;
— расходы жидкостей;
— уровни излучения и уровни активности радиоактивных аэрозолей;
— радиохимический анализ сточной воды;
— визуально определяемые отклонения от штатного режима;

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

— шумы и вибрации;
— пожар.

A.4. Чувствительность методов измерения, необходимая для обнаружения развивающегося отклонения, следует оценивать соответствующими аналитическими методами.

Температура атмосферы защитной оболочки и сливаемых текучих сред

A.5. Измерять следует как температуру воздуха в атмосфере защитной оболочки, так и температуры сливаемых текучих сред.

(a) *Температура воздуха в атмосфере защитной оболочки*. Следует установить достаточное количество датчиков температуры для того, чтобы измерять распределение температур воздуха по объему здания защитной оболочки. Кроме того, для оценки температуры атмосферы защитной оболочки можно использовать измерение температуры охлаждающей жидкости в воздушных холодильниках защитной оболочки. На информационном табло следует отображать распределение температур и локальные тенденции изменения температур воздуха и текучих сред.

(b) *Температуры дренируемых жидкостей*. Следует производить измерения температуры в выбранных канализационных каналах (дренажи систем и трапные воды), чтобы определить, имеет ли место утечка в пределах защитной оболочки из какой-либо паровой системы или напорного водопровода. Эти измерения температур следует регистрировать для выявления тенденций.

Давление в здании защитной оболочки

A.6. Утечка текучих сред, таких, как сжатый воздух, азот или вода, может явиться причиной повышения давления. Для обнаружения утечек следует производить измерение давления окружающей среды в соответствующих отсеках здания защитной оболочки. Следует предусмотреть, чтобы эти измерения учитывали изменения других параметров, таких как температура, влажность или уровни ионизирующего или электромагнитного излучения. Эти измерения давления следует регистрировать для выявления тенденций.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

Влажность в здании защитной оболочки

A.7. Влажность является очень важным фактором для обнаружения утечек из первого контура. Параметры, которые указывают на изменения влажности, включают:

— температуру точки росы атмосферы защитной оболочки;
— электрические параметры датчиков (такие, как импеданс или сопротивление);
— количество конденсата в воздушных холодильниках здания защитной оболочки.

A.8. Уровни влажности следует контролировать в соответствующих отсеках в зданиях защитной оболочки (в первичной защитной оболочке и во вторичной защитной оболочке, если она имеется), и эти измерения давления следует регистрировать для выявления тенденций.

Уровни воды в отстойниках утечки и кистевых резервуарах

A.9. Следует обеспечить, чтобы баки - хранилища и дренажные колодцы каждой системы безопасности, а также сборник конденсата каждого воздушного холодильника были оборудованы уровнемерами.

Баланс потока жидкости

A.10. Периодическое вычисление баланса массы может количественно показать количество учтенных и/или неучтенных малых утечек в данном объеме. Для расчета баланса масс следует измерить расходы жидкостей, чтобы установить балансы масс в различных системах. Для того чтобы контролировать утечки из защитной оболочки в большинстве эксплуатационных состояний, производится комбинирование измерений температуры, давления и влажности, что дает возможность периодически вычислять массы атмосферы защитной оболочки.

Измерения радиоактивности

A.11. Измерения радиоактивности особенно полезны для обнаружения нарушений, которые могли бы в противном случае остаться необнаруженными при измерении других параметров. Следует измерять радиоактивность с целью обнаружения потери герметичности одним из многочисленных защитных

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

барьеров и соответствующих выбросов радиоактивности. Поэтому измерения следует производить в следующих местах:

— контур охлаждения реактора для обнаружения повреждения топлива;
— атмосферу защитной оболочки и дренажной системы для обнаружения отказов в первом контуре и связанных контурах в защитной оболочке;
— во втором контуре для обнаружения протечек из первого контура во второй.

A.12. Для обнаружения утечек из конструкции защитной оболочки следует также производить измерение радиоактивности в вентиляционной трубе и в сообщающихся с защитной оболочкой вентилируемых зданиях. Измерение радиоактивности в вентиляционной трубе могут быть использованы для обнаружения выбросов в атмосферу защитной оболочки до изолирующих устройств и обнаружения утечек из клапанов после изолирующих устройств.

A.13. Для защитных оболочек с двойными стенками следует рассмотреть возможность проведения измерения радиоактивности в вентиляционной системе кольцеобразного пространства с целью обнаружения утечки радиоактивного материала из первичной защитной оболочки.

A.14. Следует предусмотреть возможность отбора образцов атмосферы защитной оболочки снаружи оболочки для проведения радиохимических анализов.

A.15. Помимо этого, следует рассмотреть выполнение измерений радиоактивности в следующих зонах:

— внутри или вокруг систем, в которые могут вторгнуться энергонапряженные загрязненные радиоактивностью текучие среды вследствие более низкого рабочего давления в этих системах;
— внутри или вокруг частей систем, связанных с первым контуром или атмосферой защитной оболочки, но выходящих за пределы защитной оболочки.

Химический анализ воды в дренажных колодцах

A.16. Следует обеспечить возможность отбора проб из дренажных колодцев снаружи здания защитной оболочки для того, чтобы измерениями радиоактивности и концентраций бора, лития, калия или других химических элементов или составов можно было определить источники утечек.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

A.17. Следует обеспечить возможность отбора проб и анализа сточных вод снаружи здания защитной оболочки.

Визуальное определение отклонений от штатного режима

A.18. Для облегчения визуального контроля видеокамеры следует устанавливать там, где можно ожидать появления утечек или иных неисправностей, или в тех местах, куда затруднен доступ персонала. В случае необходимости в наличии следует иметь мобильные видеокамеры.

Шумы и вибрация

A.19. Для определения незакрепленных деталей или ненормального поведения работающего оборудования следует выполнять акустический анализ шумов.

A.20. Следует рассмотреть использование сигналов звуковой частоты от здания защитной оболочки для обнаружения нештатных ситуаций. Кроме того, можно рассмотреть использование спектрального анализа и анализа с преобразованием Фурье для исследования акустических шумов.

Пожар

A.21. Во всех отсеках, где есть опасность возгорания, следует установить датчики обнаружения тепла, дыма и/или пламени.

ВЫБОР КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

A.22. При выборе контрольно-измерительных приборов следует принимать во внимание следующие факторы:

(a) соответствие и достаточность диапазона измерений, чувствительности и точности;
(b) необходимость расширения диапазонов контрольно-измерительных приборов в особых эксплуатационных ситуациях и необходимые для этого процедуры;
(c) время реакции;
(d) экологическая аттестация.

A.23. Следует обеспечить, чтобы контрольно-измерительные приборы легко поддавались идентификации (например, посредством цветового кодирования).

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

При проектировании информационных табло для оператора на блочном щите управления следует принимать во внимание соображения эргономики.

КЛАССИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПО БЕЗОПАСНОСТИ

А.24. Аппаратные средства, необходимые для выполнения функций, указанных в настоящем руководстве по безопасности, принадлежат по существу к контрольно-измерительным системам информационных и защитных систем, связанных с ядерной безопасностью. Однако эти аппаратные средства могут быть частично использованы совместно с другими системами более высокой категории безопасности. В этом случае более высокую категорию безопасности следует присвоить совместно используемой части, и не следует, чтобы остальные аппаратные средства снижали в неприемлемой степени надежность контрольно-измерительных систем, классифицированных как системы более высокой категории. Положения документа [17] следует использовать для определения важности для безопасности контрольно-измерительных приборов и формулирования соответствующих рекомендаций по их конструкции. Следует, чтобы эти рекомендации охватывали:

— анализ интенсивности отказов;
— экологическую аттестацию;
— обеспечение качества;
— проверку, испытания и калибровку;
— эксплуатационные проверки.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

[1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety of Nuclear Power Plants: Design, Safety Standards Series No. NS-R-1, IAEA, Vienna (2000).

[2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Safety of Nuclear Installations, Safety Series No. 110, IAEA, Vienna (1993).

[3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety Assessment and Verification for Nuclear Power Plants, Safety Standards Series No. NS-G-1.2, IAEA, Vienna (2001).

[4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, External Events Excluding Earthquakes in the Design of Nuclear Power Plants, Safety Standards Series No. NS-G-1.5, IAEA, Vienna (2003).

[5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Periodic Safety Review of Nuclear Power Plants, Safety Standards Series No. NS-G-2.10, IAEA, Vienna (2003).

[6] INTERNATIONAL NUCLEAR SAFETY ADVISORY GROUP, Defence in Depth in Nuclear Safety, INSAG Series No. 10, IAEA, Vienna (1996).

[7] INTERNATIONAL NUCLEAR SAFETY ADVISORY GROUP, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants, 75-INSAG-3 Rev. 1, INSAG Series No. 12, IAEA, Vienna (1999).

[8] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, State of the Art Technology for Decontamination and Dismantling of Nuclear Facilities, Technical Reports Series No. 395, IAEA, Vienna (1999).

[9] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR ORGANISATION, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, WORLD HEALTH ORGANIZATION, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115, IAEA, Vienna (1996).

[10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Protection Aspects of Design for Nuclear Power Plants, Safety Standards Series No. NS-G-1.13, IAEA, Vienna (in preparation).

[11] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors, Safety Standards Series No. WS-G-2.1, IAEA, Vienna (1999).

[12] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Seismic Design and Qualification for Nuclear Power Plants, Safety Standards Series No. NS-G-1.6, IAEA, Vienna (2003).

[13] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Protection against Internal Hazards Other than Fires and Explosions in the Design of Nuclear Power Plants, Safety Standards Series No. NS-G-1.11, IAEA, Vienna (2004).

[14] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Evaluation of Seismic Hazards for Nuclear Power Plants, Safety Standards Series No. NS-G-3.3, IAEA, Vienna (2002).

[15] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Regulatory Control of Radioactive Discharges to the Environment, Safety Standards Series No. WS-G-2.3, IAEA, Vienna (2000).

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

[16] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Maintenance, Surveillance and In-service Inspection in Nuclear Power Plants, Safety Standards Series No. NS-G-2.6, IAEA, Vienna (2002).

[17] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Instrumentation and Control Systems Important to Safety in Nuclear Power Plants, Safety Standards Series No. NS-G-1.3, IAEA, Vienna (2002).

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

Приложение I

ПРИМЕРЫ КОНСТРУКЦИЙ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ

I–1. В данном приложении представлены краткие описания нескольких концепций систем защитной оболочки, которые находятся в настоящее время теперь в эксплуатации или на продвинутой стадии проектирования. Данные описания не являются всеобъемлющими, а предназначены для того, чтобы обеспечить общий обзор того, как было произведено объединение нескольких подсистем, чтобы обеспечить выполнение функций защитной оболочки.

СУХАЯ ЗАЩИТНАЯ ОБОЛОЧКА ПОЛНОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ КОРПУСНЫХ ВОДО-ВОДЯНЫХ РЕАКТОРОВ

I–2. В этой концепции (см. рис. I–1) первичная защитная оболочка представляет собой стальную оболочку или здание из железобетона (цилиндрической или сферической формы) со стальной облицовкой, окружающее ядерную паропроизводящую установку. Защитная оболочка охватывает все элементы системы теплоносителя реактора, находящиеся под давлением. Она спроектирована как защитная оболочка полного давления, т.е. она способна выдерживать повышение увеличения давления и температуры, которые происходят в случае любой проектной аварии, в особенности в АПТ. Как правило, давление внутри защитной оболочки при нормальной эксплуатации поддерживается на уровне значительно ниже атмосферного давления при помощи вытяжной фильтровентиляционной вытяжной системы (т.е. вентилятор и высокоэффективный сухой аэрозольный фильтр).

I–3. Поглощение энергии в здании защитной оболочки может обеспечиваться применением системы охлаждения воздуха или спринклерной системой. Кроме того, для ограничения пиковых давлений и температур в постулированных условиях аварий разрыва трубопровода используется свободный объем защитной оболочки и конструкционных теплоотводов (граница защитной оболочки и сооружения в пределах нее). Первоначальная подача воды для спринклерной системы и для системы аварийного охлаждения активной зоны реактора осуществляется из большого бака. Когда эта вода использована, забор воды для спринклерной системы и для системы аварийного охлаждения активной зоны реактора переключается на водосборник здания защитной оболочки. Иногда рециркулирующая вода, направляемая в корпус ядерного реактора, охлаждается теплообменниками. В большинстве проектов

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

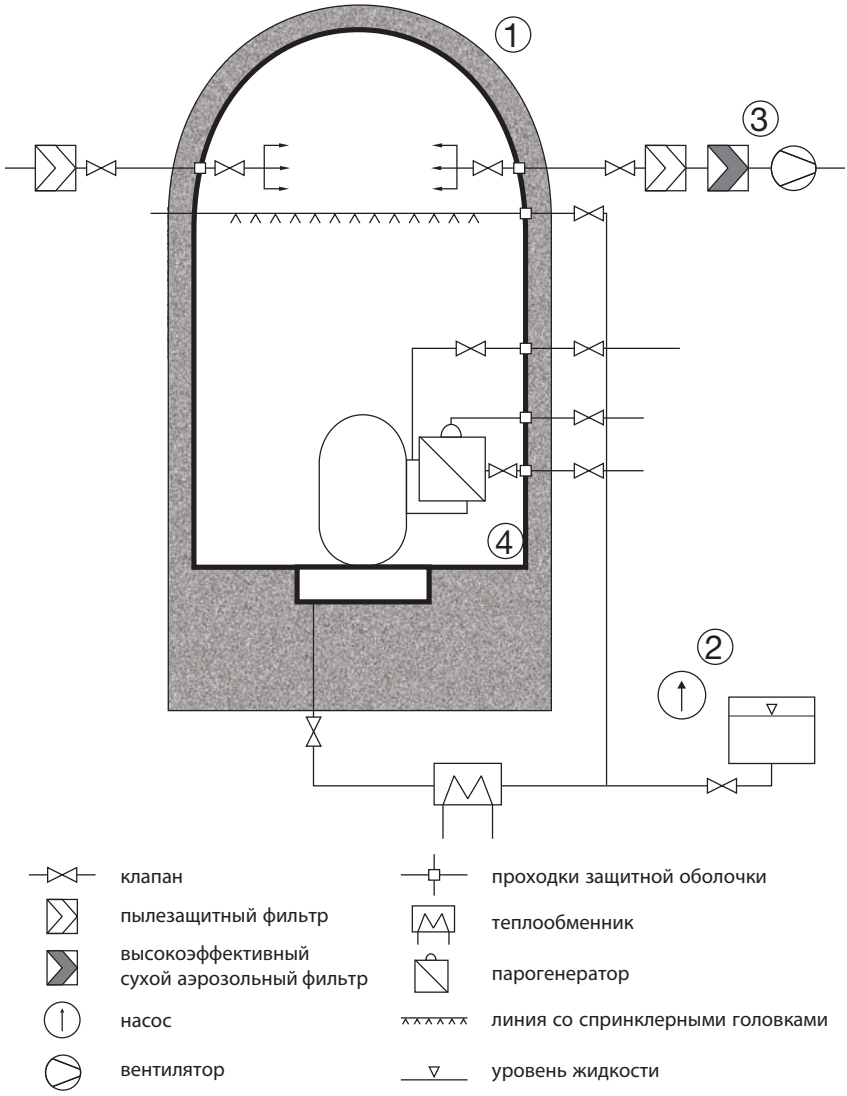


РИС. I–1. Принципиальная схема сухой защитной оболочки полного давления для корпусного водо-водяного реактора: 1 - защитная оболочка; 2 - спринклерная система защитной оболочки; 3-вытяжная фильтровентиляционная система; 4 - облицовка.

рециркулирующая вода, поступающая в коллекторы спринклерной системы - которая также используется для ограничения загрязнения атмосферы защитной оболочки, - охлаждается посредством теплообменников. При разрывах трубопроводов в других системах, помимо системы теплоносителя реактора, только спринклерная система работает в режиме рециркуляции.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

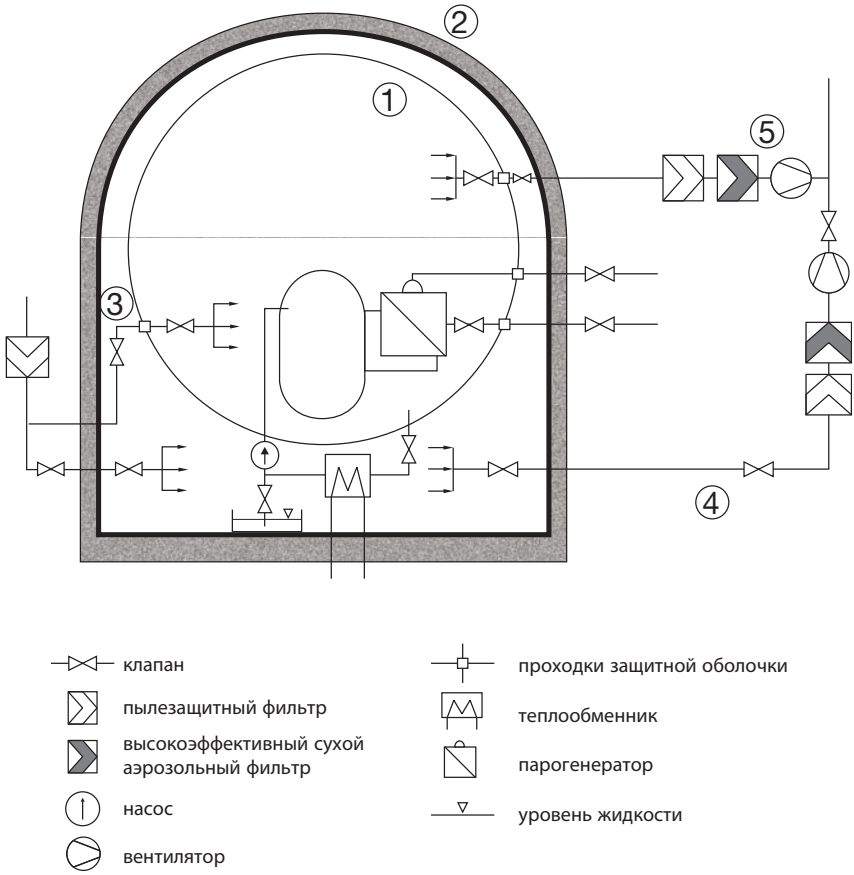


РИС. I–2. Принципиальная схема двойной защитной оболочки полного давления для корпусных водо-водяных реакторов: 1 - защитная оболочка полного давления; 2 - вторичная локализующая оболочка; 3 - кольцеобразное пространство; 4 - система откачки из кольцеобразного пространства; 5 - система выброса отфильтрованного воздуха.

ДВОЙНАЯ ЗАЩИТНАЯ ОБОЛОЧКА ПОЛНОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ КОРПУСНЫХ ВОДО-ВОДЯНЫХ РЕАКТОРОВ

I–4. Типичная двойная оболочка полного давления (см. рис. I–2) состоит из:

— стальной или железобетонной оболочки, как правило, цилиндрической или сферической формы (защитная оболочка);

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

— железобетонной оболочки, окружающей эту защитную оболочку (вторичная локализующая оболочка);
— вытяжной вентиляционной системы кольцевого пространства (пространство между защитной оболочкой и вторичной локализующей оболочкой).

I–5. Принцип работы первичной защитной оболочки аналогичен принципу работы сухой защитной оболочки полного давления корпусных водо-водяных реакторов (пункты I–2 и I–3). Вторичная локализующая оболочка выполняет следующие три функции:

— в сочетании с защитной оболочкой она обеспечивает радиационную защиту персонала станции и окружающую среду как при нормальной эксплуатации, так и в аварийных условиях;
— защищает системы и элементы, находящиеся внутри нее, от внешних постулированных исходных событий;
— захватывает протечки из защитной оболочки в кольцевом пространстве между этими двумя оболочками.

I–6. В кольцевом пространстве между двумя оболочками могут быть размещены такие системы безопасности, как система аварийного охлаждения активной зоны реактора и система впрыскивания бора высокого давления, в том случае, если они могут выдержать тепловые нагрузки и нагрузки от воздействия давления, вычисленные для проектных аварий. В аварийных условиях утечки из защитной оболочки в кольцевое пространство удаляются вытяжной фильтровентиляционной системой, а выпуск воздуха через станционную трубу подвергается контролю.

ЗАЩИТНАЯ ОБОЛОЧКА С ЛЕДОВЫМ КОНДЕНСАТОРОМ ДЛЯ КОРПУСНЫХ ВОДО-ВОДЯНЫХ РЕАКТОРОВ

I–7. В защитных оболочках с ледовым конденсатором (рис. I–3) для корпусных водо-водяных реакторов используется концепция системы понижения давления, в которой паровоздушная смесь высокого давления, образовавшаяся в результате разрыва трубопровода в аварийных условиях, направляется через выпускные заслонки в камеры с корзинами, заполненными льдом. Пар конденсируется на поверхности льда в корзинах.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

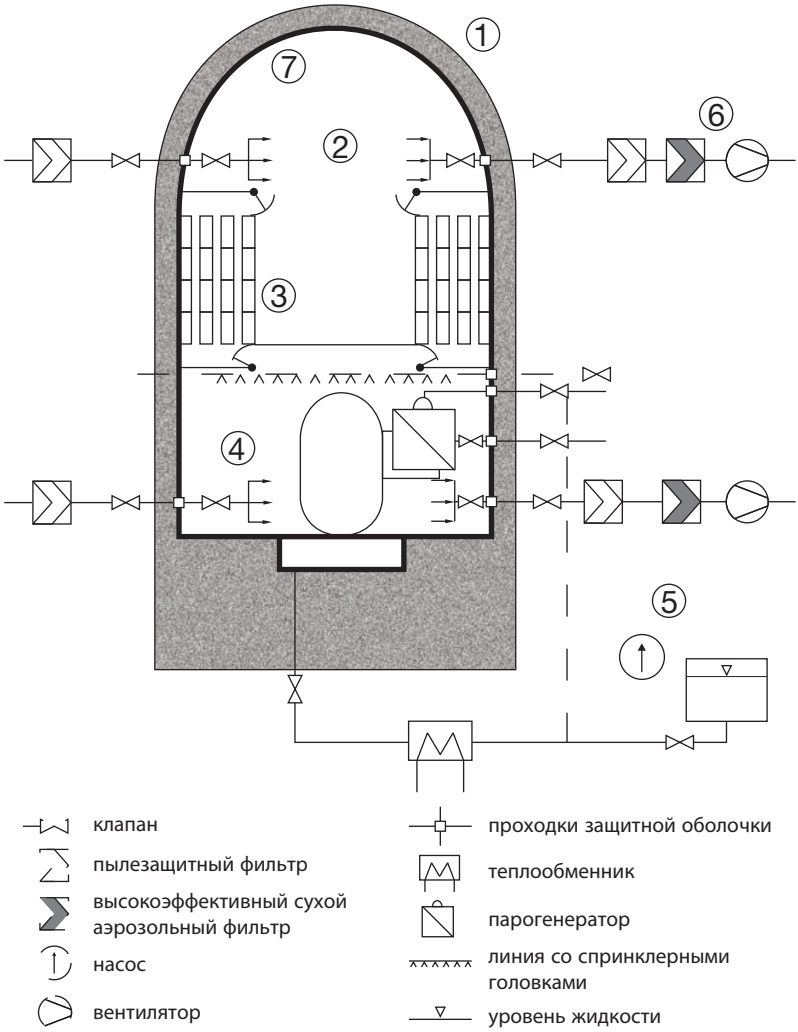


РИС. I–3. Принципиальная схема защитной оболочки с ледовым конденсатором для корпусных водо-водяных реакторов: 1 - защитная оболочка; 2 - верхний объем защитной оболочки; 3 - ледяной конденсатор; 4 - нижний отсек защитной оболочки; 5 - спринклерная система нижнего отсека защитной оболочки; 6 - вытяжная фильтровентиляционная система; 7 - облицовка.

I–8. Защитная оболочка образована цилиндрической конструкцией, разделенной на три изолированных отсека: нижний отсек, в котором находятся все основные компоненты системы теплоносителя реактора, камеры ледового конденсатора и главный верхний объем защитной оболочки.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

Неконденсирующиеся газы (в том числе инертные газообразные продукты деления), которые вытесняются в камеры ледового конденсатора, выпускаются через заслонки в главный верхний объем защитной оболочки.

I–9. Активная спринклерная система используется в нижнем отсеке защитной оболочки для понижения давления и температуры и удаления аэрозольного иода из объема защитной оболочки. Исходным источником воды для этой системы является бак хранения воды.

I–10. После истощения этого запаса начинается режим рециркуляции, при котором вода прокачивается из водосборника здания через теплообменник, а затем подается в коллекторы спринклерной системы.

ЗАЩИТНАЯ ОБОЛОЧКА С БАРБОТАЖНЫМ КОНДЕНСАТОРОМ ДЛЯ КОРПУСНЫХ ВОДО-ВОДЯНЫХ РЕАКТОРОВ

I–11. В системе защитной оболочки для корпусных водо-водяных реакторов с барботажным конденсатором использована концепция бассейна понижения давления (рис. I–4), в соответствии с которой паровоздушная смесь высокого давления, образующаяся в результате возникших после АПТ условий, направляется через трубы, заглубленные в бассейны с водой. Пар конденсируется в бассейнах барботажного конденсатора.

I–12. Защитная оболочка – цилиндрическая железобетонная конструкция, разделенная на три изолированных объема: нижний объем (сухой бокс), который содержит все главные компоненты первого контура реактора, барботажные конденсаторы (бассейны понижения давления) и главный верхний объем защитной оболочки (мокрый бокс). Неконденсирующиеся газы (в том числе инертные газообразные продукты деления), попадающие в камеры барботажного конденсатора, выпускаются через отверстия в главный верхний объем защитной оболочки. Радиоактивный иод и другие растворимые продукты деления или продукты деления в виде макрочастиц улавливаются в водных бассейнах конденсатора барботажного конденсатора.

I–13. Открытые баки, расположенные в верхнем объеме защитной оболочки, связаны через трубы сифонов с разбрызгивающими головками спринклерной системы в нижнем объеме защитной оболочки. При быстрых изменениях давления в системе защитной оболочки пассивная спринклерная система срабатывает по перепаду давления между водозабором сифонов, погруженных

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

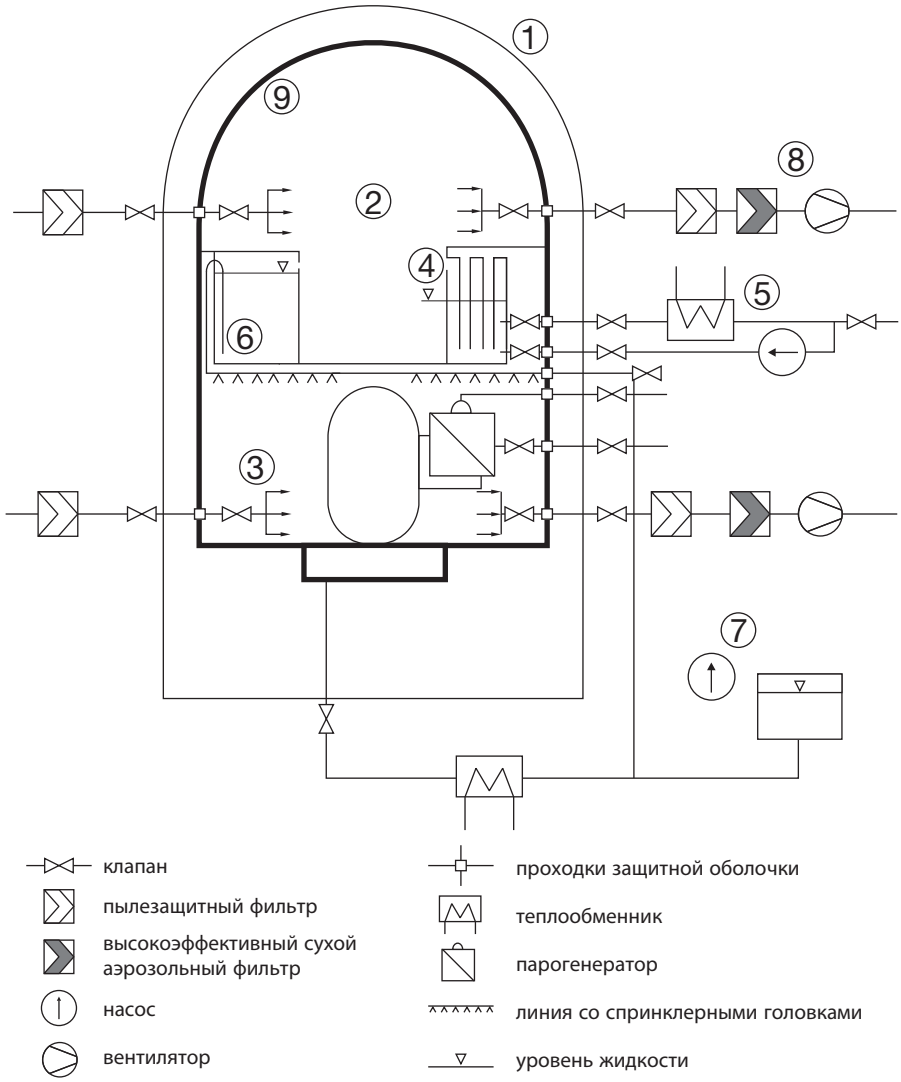


РИС. I–4. Принципиальная схема системы защитной оболочки с барботажным конденсатором для корпусного водо-водяного реактора: 1 - защитная оболочка; 2 - верхний объем защитной оболочки (мокрый бокс); 3 - нижний объем защитной оболочки (сухой бокс); 4 - система барботажного конденсатора (бассейн понижения давления); 5 - система охлаждения бассейна понижения давления (не нужна, если теплоемкость система барботажного конденсатора (4) является достаточно большой); 6 - пассивная спринклерная система; 7 - активная спринклерная система; 8 - фильтровентиляционная вытяжная система; 9 - облицовка.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

в баки, и выпускными отверстиями разбрызгивающих головок. Активная спринклерная система с независимым запасом хранящейся воды используется для осуществления как функций поглощения энергии, так и обращения с радионуклидами. Когда запасы воды в баках спринклерной системы исчерпаны, запускается режим рециркуляции, и вода из водосборника здания прокачивается через теплообменник и распыляется в нижнем объеме защитной оболочки. Через несколько минут давление в нижнем объеме падает до уровня ниже атмосферного, и между верхним и нижним объемами создается обратный перепад давлений. Возврат воздуха из верхнего объема в нижний блокируется гидрозатворами, образовавшимися в барботажных трубах. Как только давление в нижнем объеме упадет до уровня ниже атмосферного, утечка радионуклидов из него прекратится.

ЗАЩИТНАЯ ОБОЛОЧКА С СИСТЕМОЙ ПОНИЖЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ РЕАКТОРОВ С КИПЯЩЕЙ ВОДОЙ

I–14. Защитная оболочка с системой понижения давления (рис. I-5) для реакторов с кипящей водой разделена на два основных отсека: сухой бокс, в котором размещена система теплоносителя реактора, и частично заполненный водой мокрый бокс, чья функция заключается в конденсации пара в случае АПТ. Эти два отсека связаны трубами, которые погружены в воду мокрого бокса. Спринклерные системы устанавливают, как правило, и в сухом, и в мокром боксах. Здание реактора, окружающее защитную оболочку, образует вторичную локализирующую оболочку, которая захватывает утечки из защитной оболочки. Защитная оболочка обычно представляет собой либо железобетонную конструкцию со стальной облицовкой для герметичности, либо стальную оболочку.

I–15. Система понижения давления предназначена для того, чтобы понизить давление в случае разрыва трубопровода в системе теплоносителя реактора. Пар, выходящий из этих трубопроводов, попадает в сухой бокс и направляется по трубам в воду мокрого бокса, где он конденсируется, и давление в сухом боксе снижается. Система понижения давления помогает сократить концентрации радиоактивных аэрозолей за счет промывания воздуха.

I–16. Мокрый бокс также используется в качестве теплоотвода автоматической системы сброса давления. Последняя служит для ограничения нарастания давления в системе теплоносителя реактора, когда пар из реактора не может быть сброшен в систему конденсатора турбины. Пар, который

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

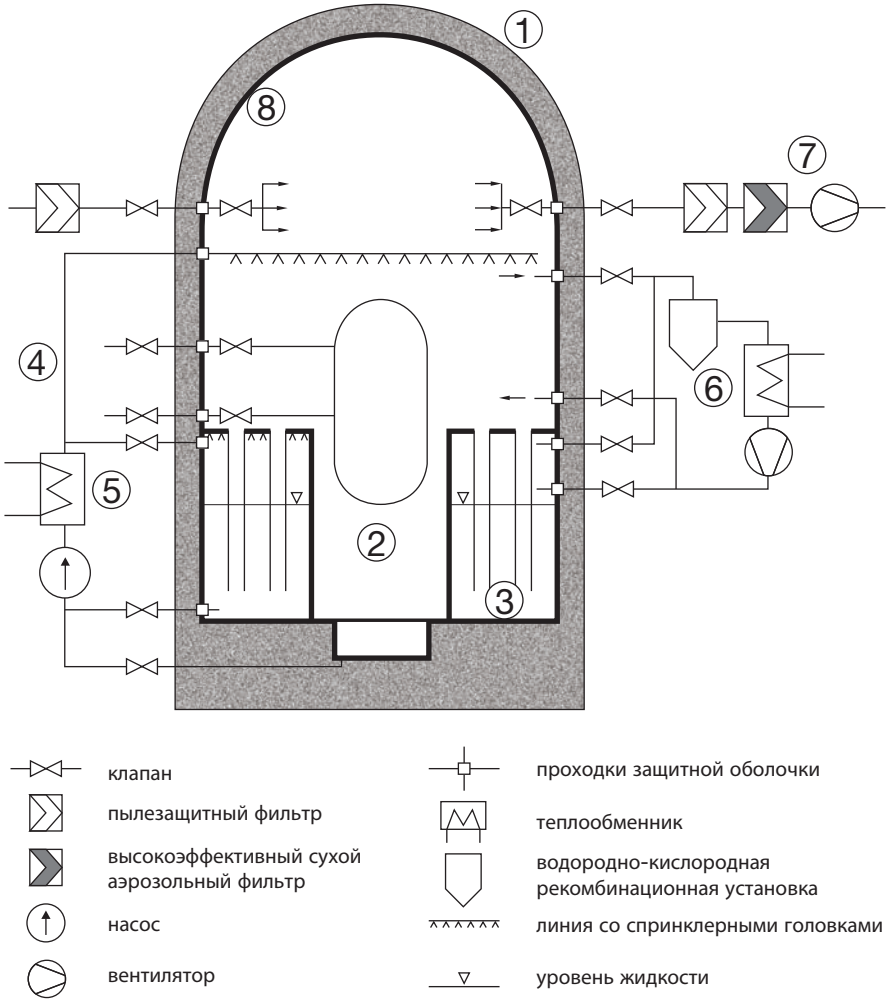


РИС. I–5. Принципиальная схема системы защитной оболочки с системой понижения давления для реактора с кипящей водой (здание реактора, выполняющее функции локализации, не показано): 1 - защитная оболочка; 2 - сухой бокс; 3 - бассейн понижения давления (мокрый бокс); 4 - спринклерная система защитной оболочки; 5 - система охлаждения бассейна понижения давления; 6 - система контроля водорода; 7 - система выброса отфильтрованного воздуха; 8 - облицовка.

продолжает вырабатываться за счет остаточного тепловыделения после останова реактора, направляется в воду в мокром боксе через сбросные предохранительные клапаны, связанные с паропроводами внутри сухого бокса.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

I–17. Железобетонная или стальная конструкция реакторного здания, окружающего защитную оболочку, служит в качестве защиты от внешних событий.

I–18. В реакторном здании поддерживается небольшое отрицательное манометрическое давление как в эксплуатационных состояниях, так и в аварийных условиях. В случае аварии утечки из сухого бокса в реакторное здание удаляются системой удаления воздуха с тем, чтобы можно было осуществить контролируемый выпуск через станционную трубу.

ЗАЩИТНАЯ ОБОЛОЧКА С СИСТЕМОЙ ПОНИЖЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ С ВОДОСЛИВНОЙ СТЕНКОЙ ДЛЯ РЕАКТОРОВ С КИПЯЩЕЙ ВОДОЙ

I–19. Система защитной оболочки подавления давления с водосливной стенкой (рис. I–6) для реакторов с кипящей водой состоит из трех различных конструкций: сухого бокса, защитной оболочки и здания реактора.

I–20. Функция конструкции сухого бокса состоит в полном ограждении корпуса ядерного реактора и в создании границы контура давления для того, чтобы отделить корпус реактора и его систему рециркуляции от защитной оболочки и основного объема бассейна понижения давления. Благодаря конструкции сухого бокса паровоздушная смесь направляется в бассейн понижения давления. Эта конструкция также обеспечивает радиационную защиту от излучений реактора и трубопроводов ядерной паропроизводящей системы. Водосливная стенка конструкции сухого бокса служит внутренней стенкой бассейна понижения давления и направляет поток пара, выделяющегося при постулированной АПТ, через горизонтальные погруженные в воду каналы в бассейн понижения давления для конденсации.

I–21. Одна из функций здания реактора – обеспечение защиты защитной оболочки, персонала и оборудования от внешних летящих предметов. Оно также обеспечивает защиту от воздействия от продуктов деления во вторичной локализующей оболочке, выполняет функцию вторичного защитного барьера и служит средством для сбора и фильтрации утечек продуктов деления из стальной защитной оболочки после АПТ.

I–22. В постулируемых условиях АПТ повышение давления в сухом боксе приводит к понижению уровня воды между водосливной стенкой плотины и конструкционной стенкой сухого бокса, при этом раскрываются отверстия в конструкционной стенке сухого бокса и паровоздушная смесь продавливается

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

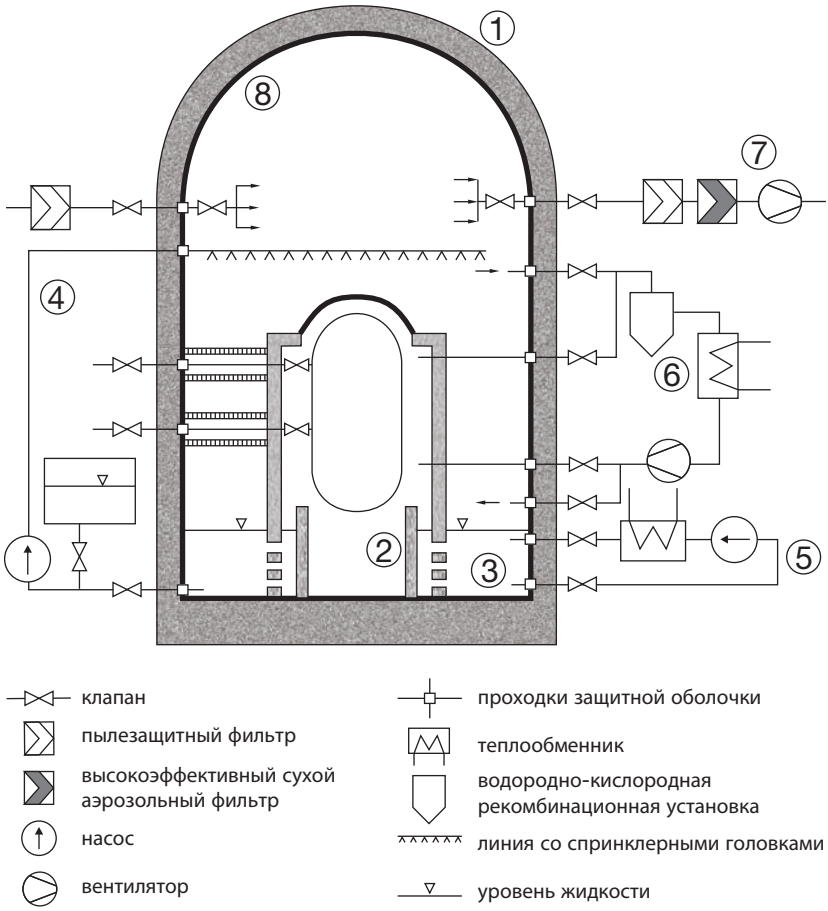


РИС. 1–6. Принципиальная схема системы защитной оболочки подавления давления с водосливной стенкой (здание реактора, выполняющее функции локализации, не показано) для реактора с кипящей водой: 1 - защитная оболочка; 2 - сухой бокс; 3 - бассейн понижения давления (с водосливной стенкой); 4 - спринклерная система защитной оболочки; 5 - система охлаждения бассейна понижения давления; 6 - система контроля водорода; 7 - система выброса отфильтрованного воздуха; 8 - облицовка.

из сухого бокса через эти отверстия в бассейн понижения давления. Пар конденсируется в воде бассейна понижения давления. Инертные газообразные продукты деления и другие неконденсирующиеся газы, поступающие из сухого бокса, выделяются с поверхности бассейна понижения давления в объем защитной оболочки.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

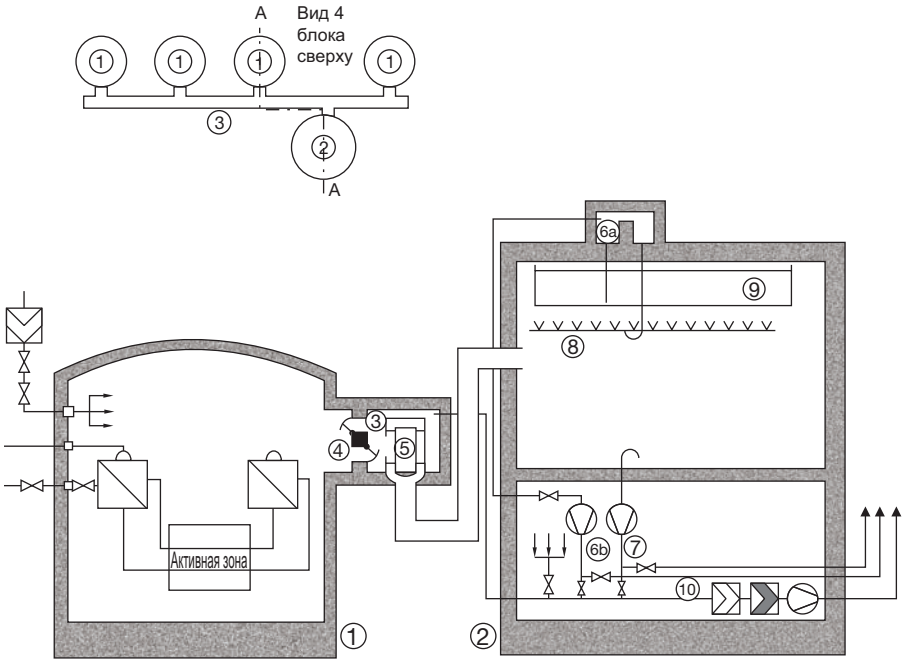
I–23. В долгосрочной перспективе для понижения давления и уменьшения концентрации аэрозольных радионуклидов в пределах защитной оболочки используется активная спринклерная система. Эта система производит забор воды из бассейна понижения давления всасыванием через теплообменник, после чего вода подается насосами в распылительные головки спринклерной системы, расположенные под куполом защитной оболочки.

ЗАЩИТНАЯ ОБОЛОЧКА ОТРИЦАТЕЛЬНО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ КОРПУСНЫХ ТЯЖЕЛОВОДНЫХ РЕАКТОРОВ

I–24. Термин "защитная оболочка отрицательного давления" используется для описания системы защитной оболочки, которая обычно состоит из следующих подсистем (рис. I–7):

(a) защитной оболочки, которая включает реакторные здания, соединительный канал сброса давления, вакуумные каналы, вакуумированное здание и все пристройки защитной оболочки;
(b) системы сброса давления, которая включает запорные щиты сброса давления, которые изолируют реакторные здания от соединительного канала сброса давления и предохранительных клапанов, которые изолируют этот канал сброса давления от вакуумированного здания;
(c) вакуумной системы, которая поддерживает отрицательное давление в вакуумированном здании, так что при соединении этого здания с защитной оболочкой атмосфера из защитной оболочки засасывается в вакуумированное здание;
(d) системы поглощения энергии, включающей бак душирования, вакуумную систему верхней камеры и коллектора спринклерной системы, которая размещена в вакуумированном здании и которая может поглотить всю энергию, выделившуюся в вакуумированное здание;
(e) системы контроля атмосферы, которая контролирует атмосферу внутри реакторных зданий;
(f) системы выброса отфильтрованного воздуха, которая помогает поддерживать давление в пределах защитной оболочки на уровне ниже атмосферного в течение длительного времени после аварии. В реакторных зданиях как в эксплуатационных состояниях, так и после аварии, давление поддерживается на уровне немного ниже атмосферного.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.



Сечение
А-А

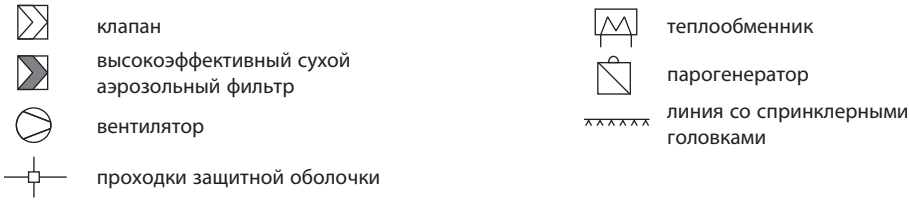


РИС. I–7. Принципиальная схема системы защитной оболочки отрицательного давления для корпусных тяжеловодных реакторов: 1 - здания реактора; 2 - вакуумированное здание; 3 - канал сброса давления; 4 - впускные и выпускные запорные щиты; 5 - предохранительный клапан; 6a - верхняя камера; 6b - система откачки; 7 - система откачки вакуумированного здания; 8 - спринклерная система вакуумированного здания; 9 - бак душирования; 10 - система выброса отфильтрованного воздуха.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

I–25. Поглощение энергии достигается за счет сброса пикового давления из реакторного здания в вакуумированное здание через систему сброса давления, которая приводится в действие небольшим увеличением давления в реакторном здании. Дополнительное поглощение энергии происходит, когда пар, сброшенный в вакуумированное здание, конденсируется спринклерной системой, которая автоматически приводится в действие изменением в давлении в вакуумированном здании. Длительный отвод тепла от защитной оболочки обеспечивается системой контроля атмосферы, которая охлаждает воздух в здании, и теплообменниками в системе рециркуляции системы аварийного охлаждения активной зоны. Обращение с радионуклидами осуществляется за счет их осаждения на внутренних поверхностях защитной оболочки и вымывания за счет распыления воды, а также обеспечением герметичности защитной оболочки.

ЗАЩИТНАЯ ОБОЛОЧКА ПОД ДАВЛЕНИЕМ ДЛЯ КОРПУСНЫХ ТЯЖЕЛОВОДНЫХ РЕАКТОРОВ

I–26. Система защитной оболочки под давлением (рис. I-8), используемая в корпусных тяжеловодных реакторах в проектах одноблочных станций, обычно состоит из следующий подсистем:

(a) защитной оболочки, включающей реакторное здание из предварительно напряженного железобетона, и ее пристройки;
(b) системы поглощения энергии, которая состоит из бака душирования и спринклерной системы, которые подавляют начальное пиковое давление;
(c) системы охлаждения реакторного здания для уменьшения давления в защитной оболочке в более долгосрочном плане;
(d) системы выброса отфильтрованного воздуха, которая помогает поддерживать давление в пределах защитной оболочки на уровне ниже атмосферного в течение длительного времени после аварии, и системы контроля атмосферы, которая помогает в осуществлении операций очистки в защитной оболочке.

I–27. При обнаружении радиоактивности или высокого давления в реакторном здании система изоляции закрывает соответствующие проходки защитной оболочки.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

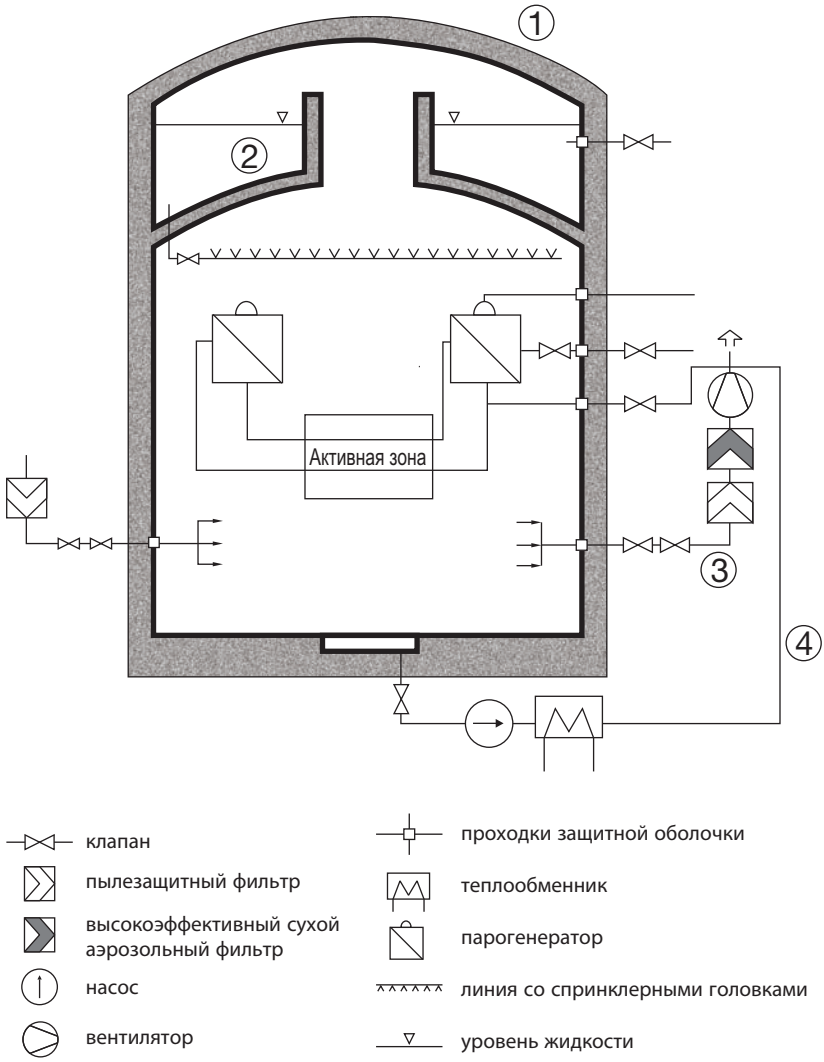


РИС. I–8. Принципиальная схема системы защитной оболочки под давлением для корпусных тяжеловодных реакторов: 1 - защитная оболочка; 2 - бак душирования и спринклерная система; 3 - система выброса отфильтрованного воздуха; 4 - система аварийного охлаждения активной зоны реактора.

I–28. При обнаружении высокого давления в реакторном здании в действие также приводится система душирования. Начальное пиковое давление после АПТ подавляется конденсацией пара через душирующую распылительную

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

систему. Долгосрочное поглощение энергии осуществляется системой контроля атмосферы (воздушные холодильники здания) и теплообменниками в системе рециркуляции системы аварийного охлаждения активной зоны реактора. Обращение с радионуклидами осуществляется за счет их осаждения на внутренних поверхностях защитной оболочки и вымывания за счет распыления воды из бака душирования, а также обеспечением герметичности защитной оболочки и, на некоторых станциях, подачей буферного раствора в водосборник для контроля показателя степени кислотности среды в нем.

ДВОЙНАЯ ЗАЩИТНАЯ ОБОЛОЧКА ПОЛНОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ КОРПУСНЫХ ВОДО-ВОДЯНЫХ РЕАКТОРОВ ДЛЯ СМЯГЧЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЙ

I–29. Этот тип защитной оболочки осуществляет контроль проектных аварий в значительной мере таким же образом, как и двойная защитная оболочка, описанная в пунктах I-4–I-6. Главные различия заключаются в следующем (рис. I-9):

— емкость для воды для системы аварийного охлаждения активной зоны реактора нижней части защитной оболочки, которая выполняет функции водосборника и делает ненужным переключение системы аварийного охлаждения активной зоны реактора с инжектирования на рециркуляцию;
— расположение системы аварийного охлаждения активной зоны реактора вне кольцевого пространства в защищенных зданиях.

I–30. Смягчение последствий тяжелых аварий достигается главным образом за счет использования:

— первичного устройства сброса давления, которое предотвращает байпасирование защитной оболочки через трубы парогенератора и повреждение корпуса реактора при высоком давлении и таким образом сводит к минимуму последствия летящих предметов в корпусе реактора и прямого нагрева защитной оболочки;
— пассивных автокаталитических рекомбинационных установок, которые предотвращают глобальную детонацию водорода во всем объеме защитной оболочки, а также локального мгновенного сгорания и перехода детонации в мгновенное сгорание в сочетании с созданием паровой подушки и возможностью пассивной конвекции в объеме защитной оболочки;

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

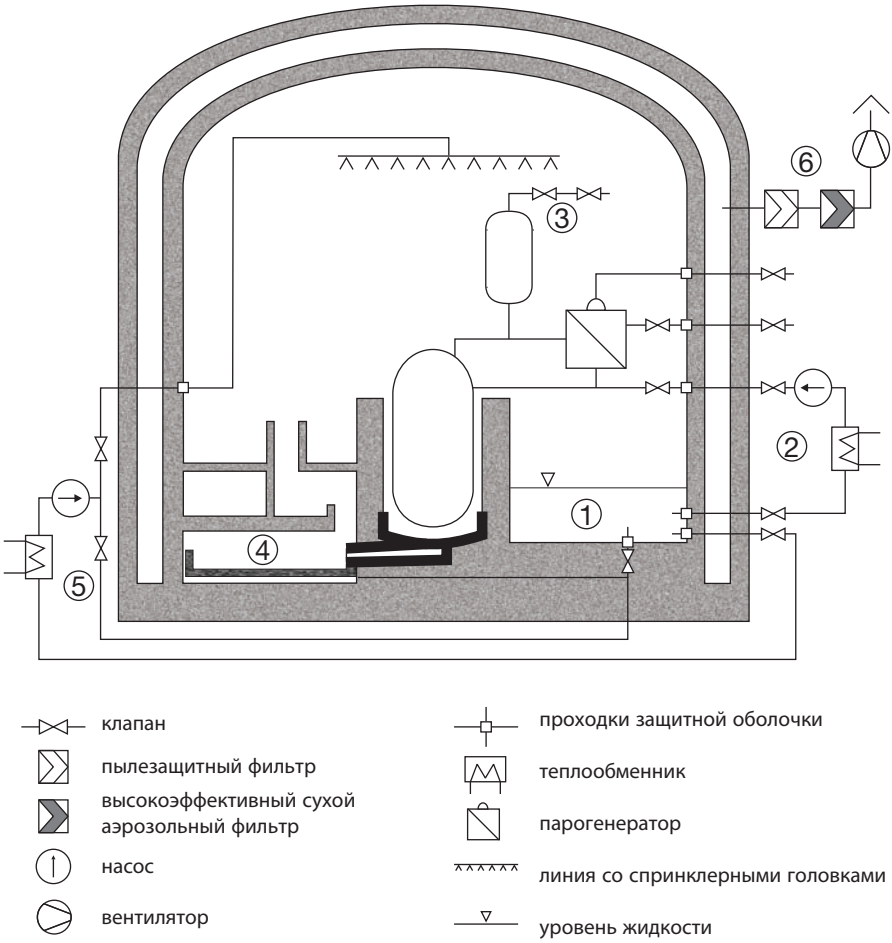


РИС. I–9. Принципиальная схема двойной защитной оболочки полного давления для корпусных водо-водяных реакторов с устройствами для смягчения последствий тяжелой аварии: 1 - бак воды системы аварийного охлаждения активной зоны реактора внутри защитной оболочки; 2 - система аварийного охлаждения активной зоны; 3 - первичное устройство сброса давления; 4 - уловитель активной зоны; 5 - система отвода тепла из защитной оболочки; 6 - система выброса отфильтрованного воздуха из кольцевого пространства

— уловителя активной зоны в отсеке слива расплава активной зоны, который стабилизирует материал после временного удержания в пределах шахты реактора путем пассивного залива и охлаждения водой от водяного бака внутри защитной оболочки;

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

— активной системы отвода тепла защитной оболочки, которая обеспечивает долгосрочное охлаждение атмосферы защитной оболочки и расплавленного материала активной зоны;
— системы поддержания пониженного давления в кольцевом пространстве, которая выбрасывает через фильтры попавшие в нее из защитной оболочки утечки.

КИПЯЩИЕ РЕАКТОРЫ УПРОЩЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ С ПАССИВНОЙ СИСТЕМОЙ ОХЛАЖДЕНИЯ

I–31. Защитная оболочка кипящих реакторов упрощенной конструкции с пассивной системой охлаждения построена из железобетона с внутренней стальной облицовкой (рис. I-10). Защитная оболочка обычно подразделяется на сухой бокс и бассейн понижения давления, который действует в качестве теплоотвода в аварийных условиях и обеспечивает воду для активной подпитки корпуса реактора.

I–32. Пассивное охлаждение и затопление активной зоны реактора, как правило, обеспечиваются бассейнами залива активной зоны, которые действуют в качестве теплоотводов для пассивных аварийных конденсаторов, а также для систем предохранительных клапанов. Кроме того, вода бассейнов залива применяется для пассивного затопления активной зоны реактора вслед за потерей корпусом реактора герметичности в случае АПТ. Поглощение энергии в защитной оболочке обеспечивается пассивными конденсаторами защитной оболочки, которые отводят тепловую энергию в бассейн, выполняющий функции сепаратора-осушителя и находящийся над защитной оболочкой, и возвращают конденсат в бассейны залива активной зоны.

I–33. Для управления тяжелыми авариями в кипящих реакторах упрощенной конструкции с пассивной системой охлаждения используется наружное охлаждение корпуса реактора. Нижняя часть сухого бокса заливается водой из бассейнов залива активной зоны, и естественная циркуляция внутри изолирующей системы корпуса реактора обеспечивает теплоперенос к конденсаторам системы охлаждения защитной оболочки.

I–34. Для предотвращения воспламенения водорода при работе на мощности производится заполнение защитной оболочки инертным газом. Водород, собирающийся в верхней части защитной оболочки, сбрасывается через специальные вентиляционные каналы в мокрый бокс во избежание ухудшения работы конденсаторов системы охлаждения защитной оболочки.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

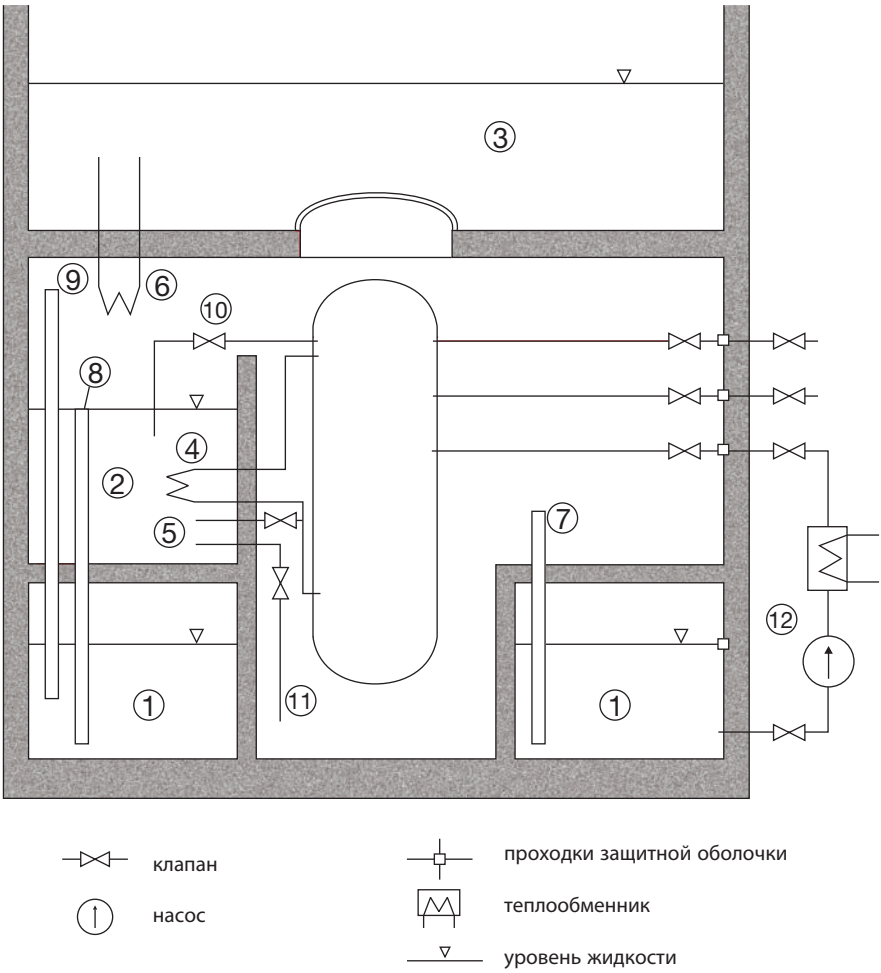


РИС. I–10. Принципиальная схема кипящего реактора упрощенной конструкции с пассивной системой охлаждения: 1 - бассейн понижения давления; 2 - бассейн залива активной зоны; 3 - бассейн сепаратор-осушитель; 4 - аварийные конденсаторы; 5 - линии залива активной зоны; 6 - конденсатор системы охлаждения защитной оболочки; 7 - вентиляционные каналы; 8 - переливные трубы; 9 - каналы продувки водорода; 10 - предохранительные клапаны; 11 - линия залива сухого бокса; 12 - активная система отвода остаточного тепла.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

КОРПУСНЫЕ ВОДО-ВОДЯНЫЕ РЕАКТОРЫ УПРОЩЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ С ПАССИВНОЙ СИСТЕМОЙ ОХЛАЖДЕНИЯ

I–35. В концепции упрощенного корпусного водо-водяного реактора с пассивной системой охлаждения (рис. I-11) защитная оболочка состоит из металлической оболочки, окружающей ядерную паропроизводящую установку. В то время как действие эксплуатационных систем основано на проверенной технологии корпусных водо-водяных реакторов, системы безопасности таких реакторов работают пассивно и не зависят в своей работе от активных элементов и вспомогательных систем, связанных с ядерной безопасностью.

I–36. При авариях остаточное тепло передается через пар в атмосферу защитной оболочки либо через утечку, либо через пассивную систему охлаждения активной зоны, которая использует расположенный в защитной оболочке бак борного концентрата как теплоотвод. Расположенный в защитной оболочке бак борного концентрата также используется как источник воды для обеспечения аварийной подачи воды в случае АПТ и для залива полости реактора для обеспечения внешнего охлаждения корпуса реактора в случае тяжелой аварии.

I–37. Поглощение энергии в защитной оболочке обеспечивается пассивной системой внешнего охлаждения защитной оболочки либо за счет пассивной циркуляции воздуха в кольцевом пространстве, либо путем работы системы орошения корпуса защитной оболочки с подачей воды самотеком. Конструктивные особенности защитной оболочки способствуют заливу её полости при аварии и погружению нижней крышки корпуса реактора в воду. Протечки, вышедшие во время АПТ через разрыв, также направляются в полость реактора. В результате сбора воды в нижней части защитной оболочки в ходе аварии достигается такой уровень воды, который обеспечивает, что вода сольется обратно в систему охлаждения реактора через фильтрующие сетки водосборника.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

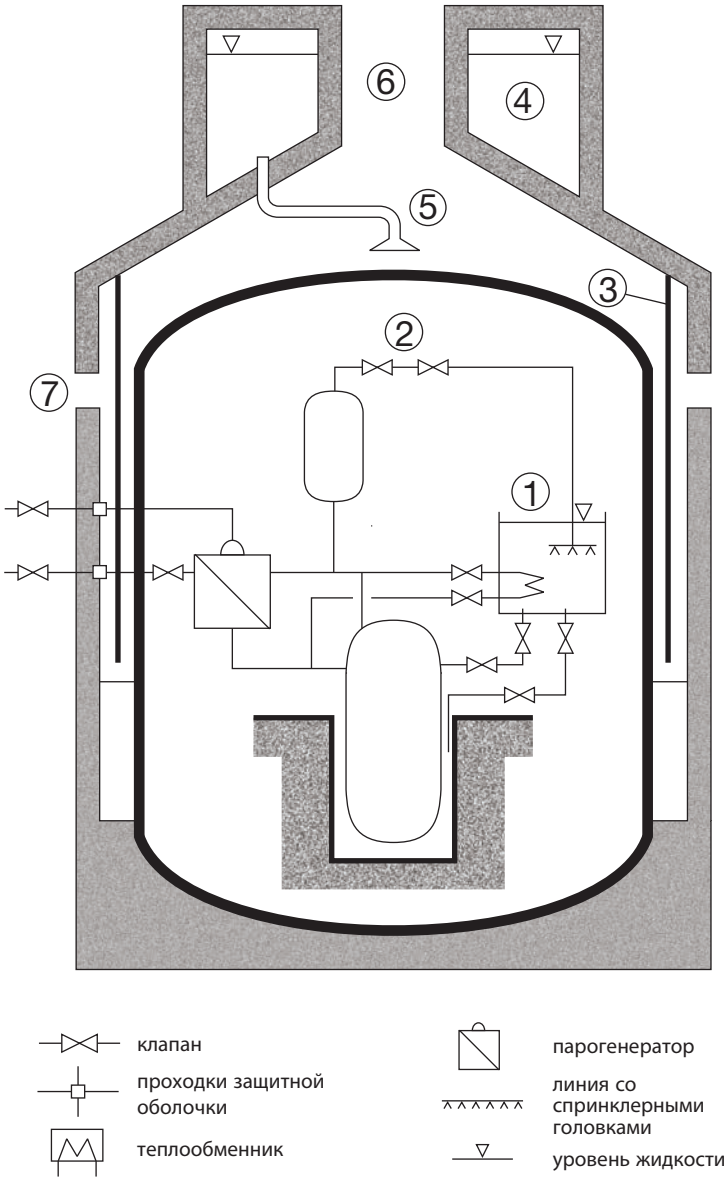


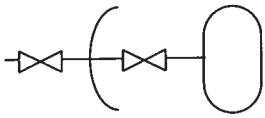
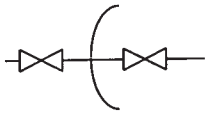
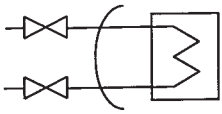
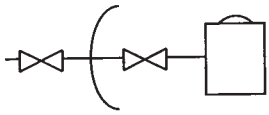
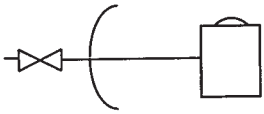
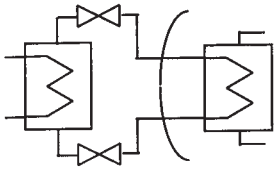
РИС. I–11. Принципиальная схема пассивного упрощенного корпусного водо-водяного реактора: 1 - расположенный в защитной оболочке бак борного концентрата; 2 - система сброса давления первого контура; 3 - воздушная перегородка; 4 - пассивная система охлаждения защитной оболочки: бак подачи воды самотеком; 5 - орошение защитной оболочки самотеком; 6 - выпуск воздуха из системы естественной вентиляции; 7 - воздухозаборник системы естественной вентиляции.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

Приложение II

ИЛЛЮСТРАЦИЯ КАТЕГОРИЙ ОСОБЕННОСТЕЙ ИЗОЛЯЦИИ

ТАБЛИЦА II–1. КАТЕГОРИИ ИЗОЛИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

См. пункт	Схематическое изображение	Примеры
4.171 (a)		Система регулирования водно-химического режима (корпусные водо-водяные реакторы). Трубопровод свежего пара (кипящие реакторы)
4.171 (b)		Вентиляционный канал
4.172		Система воздушного охлаждения внутри защитной оболочки
4.172		Продувочная труба парогенератора
4.172		Трубопровод свежего пара (корпусные водо-водяные реакторы)
4.173		Промежуточное охлаждение

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

Приложение III

ЯВЛЕНИЯ ТЯЖЕЛОЙ АВАРИИ

III–1. Тяжелая авария – это такая авария, при которой аварийные условия являются более тяжелыми, чем при проектной аварии, и при которой имеет место значительное разрушение активной зоны реактора. Тяжелые аварии начинаются с потери охлаждения активной зоны реактора и начального разогрева топлива и продолжаются до тех пор, пока либо:

(a) разрушенная активная зона не застабилизируется и не охладится в корпусе реактора, либо
(b) пока топливо не перегреется до точки плавления, корпус реактора не потеряет герметичность и материал расплава активной зоны не высвободится в защитную оболочку.

Потенциальное отрицательное воздействие тяжелой аварии заключается в:

— перегреве защитной оболочки и создании в ней избыточного давления из-за выхода материала расплава активной зоны в шахту реактора;
— выработке значительных количеств водорода и других неконденсирующихся газов вследствие взаимодействия между материалом расплава активной зоны и бетоном;
— повреждении конструкций металлических элементов защитной оболочки из-за прямого контакта с материалом расплава активной зоны;
— выбросе материала расплава активной зоны под высоким давлением с последующим быстрым прямым нагревом защитной оболочки.

III–2. Этап постепенного прогрева корпуса реактора и плавления активной зоны создает исходные условия для оценки тепловых и механических нагрузок, которые, в конечном счете, могут угрожать целостности защитной оболочки.

III–3. Развитие тяжелых аварий за пределами корпуса реактора зависит от вида и времени разрушения корпуса реактора, давления в системе теплоносителя реакторной установки, состава, количества и происхождения выброшенных обломков расплавленной активной зоны, типа бетона, использованного в строительстве защитной оболочки, и наличия воды в шахте реактора. Тяжелые аварии могут вызвать некоторые явления с выделением большого количества энергии. Эти явления могут привести к превышению предельной несущей способности защитных оболочек, построенных с

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

применением существующих технологий, и, следовательно, привести к большому выбросу радионуклидов в окружающую среду на ранней стадии аварии.

ВЫБРОС РАСПЛАВА АКТИВНОЙ ЗОНЫ ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ

III–4. Для некоторых типов реактора риски, связанные с тяжелыми авариями, происходящими в сочетании с высоким давлением в системе теплоносителя реактора, будут, без принятия мер противодействия, вносить значительный вклад в общие риски, связанные с тяжелыми авариями. Тяжелые аварии, происходящие в сочетании с высоким давлением в системе теплоносителя реактора, могут привести к возникновению неприемлемых нагрузок на барьер защитной оболочки.

III–5. При наличии высокого давления в системе теплоносителя реактора материал расплава активной зоны может быть в виде струи выброшен из шахты реактора, разбившись при этом на мелкие частицы. Вполне вероятно, что осколки активной зоны, выброшенные из корпуса реактора, выйдут и за пределы реакторной шахты и попадут в верхнюю часть защитной оболочки. Раздробленные на мелкие части и рассеянные осколки активной зоны могут вызвать нагрев атмосферы защитной оболочки, приводя к большим всплескам давления. Помимо этого, химическое взаимодействие распыленных обломков активной зоны с кислородом и паром также может привести к дополнительному росту давления. Водород, который уже находился в защитной оболочке или который был произведен в ней при прямом нагреве защитной оболочки, может воспламениться, вызывая дополнительные нагрузки на защитную оболочку. Это явление известно. Это явление известно как выброс расплава под высоким давлением с прямым нагревом защитной оболочки.

III–6. Воздействие нагрузок вследствие прямого нагрева защитной оболочки может быть смягчено при использовании такой конструкции шахты реактора, которая уменьшает выброс осколков активной зоны в верхнюю часть защитной оболочки в той мере, в какой эти конструктивные особенности не будут чрезмерно препятствовать эксплуатации станции, включая работы по перегрузке топлива, техническому обслуживанию и контролю. Примеры проектных решений шахты реактора, сокращающие количество выброшенных осколков активной зоны, которые могут достичь верхней части защитной оболочки:

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

(a) полочки или стенки для отклонения осколков активной зоны;
(b) непрямые проходы из нижней части шахты реактора в верхнюю часть защитной оболочки.

БАЙПАСИРОВАНИЕ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ

III–7. Для корпусных водо-водяных реакторов вероятность повреждения труб парогенератора в результате ползучести для некоторых тяжелых аварий при высоком давлении теплоносителя реактора не является пренебрежимо малой, при её возникновении возможно байпасирование защитной оболочки.

III–8. Чтобы свести к минимуму возможность разгерметизации защитной оболочки или её байпасирования в тяжелых авариях при высоком давлении теплоносителя реактора, устройства станции при необходимости могут быть дополнены устройством надежного сброса давления из системы теплоносителя реактора, что предотвращает этот процесс.

ПАРОВЫЕ ВЗРЫВЫ

III–9. Считается, что постулированные паровые взрывы внутри корпуса реактора не угрожают целостности защитной оболочки.

III–10. Отказ корпуса ядерного реактора при высоком или при низком давлении в сочетании с присутствием воды в шахте реактора может привести к взаимодействиям между топливом и теплоносителем, что может привести к быстрому парообразованию или паровым взрывам. Быстрое образование пара может привести к повышению давления в отсеках защитной оболочки в степени, превышающей способности защитной оболочки сбрасывать давление, что приводит к её разгерметизации из-за локального превышения давления. Паровые взрывы могут явиться результатом быстрого смешивания мелких обломков материала активной зоны с окружающей водой, приводящего к быстрому испарению и разгону окружающей воды, что создает существенное давление и динамические нагрузки.

III–11. Если важные компоненты защитной оболочки, такие, как стенка шахты реактора и облицовка, не способны выдерживать высокие ударные нагрузки, то присутствия воды в шахте реактора можно избежать посредством соответствующей компоновки оборудования.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

ОБРАЗОВАНИЕ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ

III–12. Образование и сгорание больших объемов водорода и угарного газа - явления тяжелой аварии, которые могут угрожать целостности защитной оболочки. Основная причина образования водорода – это окисление металлического циркония и, в меньшей степени, взаимодействие стальных или любых других металлических деталей с паром, когда металл разогревается до температур, значительно превышающих нормальные рабочие температуры.

III–13. Кроме того, необходимо учитывать образование водорода за пределами корпуса реактора. В этом случае водород образовывается, главным образом, в результате реагирования выброшенных за пределы корпуса реактора осколков активной зоны с паром и, в отдаленной перспективе, в результате взаимодействия расплава активной зоны с бетоном (пункт III–17) и расширенным радиолизом воды в водосборнике.

III–14. Взаимодействие расплавленного материала активной зоны с бетоном могут также привести к образованию угарного газа, который является также горючим при определенных условиях.

III–15. В условиях тяжелой аварии в течение короткого времени (от нескольких минут до часа - в зависимости от конструкции защитной оболочки, сценария и местоположения) могут локально образоваться высокие концентрации водорода; в течение более длительного времени они могут образоваться по всему объему защитной оболочки.

III–16. При превышении предела воспламеняемости становится возможным возгорание водорода, которое, в зависимости от концентраций, атмосферных условий в защитной оболочке и ее геометрии, может принять различные формы: диффузионное пламя (которое в основном и вызывает тепловые нагрузки), медленная дефлаграция (которая является, главным образом, ответственной за квазистатическое нагружение давлением), быстрая дефлаграция (для которой становятся важными динамические эффекты) и детонация (при которой скорость фронта пламени превышает скорость звука в неполностью сгоревшем газе, приводя к возникновению чрезвычайно тяжелых динамических явлений). В зависимости от режима горения, целостность защитной оболочки может оказаться под угрозой из-за воздействия нагрузок, превышающих проектные пределы конструкции.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МАРИАЛА РАСПЛАВЛЕННОЙ АКТИВНОЙ ЗОНЫ С БЕТОНОМ

III–17. Контакт между расплавленным материалом активной зоны и бетоном в шахте реактора приведет к взаимодействию расплавленного материала активной зоны с бетоном. Этот процесс включает в себя разложение бетона под воздействием осколков активной зоны и может создать угрозу герметичности защитной оболочки за счет воздействия различных механизмов, включая следующие:

(a) повышение давления в защитной оболочке в результате выделения пара и неконденсирующихся газов вплоть до разрушения защитной оболочки;
(b) перенос газов и аэрозолей с высокой температурой внутрь защитной оболочки, что приводит к разрушению уплотнений и проходок защитной оболочки под воздействием высоких температур;
(c) проплавление на всю толщину облицовки защитной оболочки или опорной плиты;
(d) проплавление на всю толщину опорных конструкций реактора, приводящее к перемещению корпуса ядерного реактора и разрыву проходок защитной оболочки;
(e) выработка горючих газов, таких как водород и угарный газ.

Многие факторы влияют на взаимодействие расплава активной зоны с бетоном, включая наличие воды в шахте реактора, геометрию и расположение защитной оболочки, состав, количество и температуру осколков активной зоны, и тип бетона.

РАБОТА ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

III–18. Потенциально медленное высвобождение массы и энергии, которое характеризуется процессом образования тепла в ходе радиоактивного распада и образованием неконденсирующихся газов, в долгосрочном плане представляет проблему с точки зрения целостности защитной оболочки. Риски, связанные с этими специфичными проблемами, можно оценивать на основе вероятностных оценок безопасности и научных исследований тяжелых аварий, характерных для индивидуального проекта станции. В целом, эффективность любого предлагаемого проектного решения может оцениваться посредством комбинации вероятностной оценки безопасности, моделей, основанных на наилучшей оценке и компьютерных программ, вместе с учетом влияния исходных граничных условий и неопределенностей в моделировании.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

III–19. Сохранение работоспособности защитной оболочки под давлением может также зависеть от сохранения (или несохранения) работоспособности спринклерной системы (или теплообменников) или системы охлаждения воздуха защитной оболочки.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ

Cortes, P.	Commissariat à l'énergie atomique, France
Couch, D.P.	Pacific Northwest National Laboratory, United States of America
De Boeck, B.	Association Vinçotte Nuclear, Belgium
Gasparini, M.	International Atomic Energy Agency
Krugmann, U.	Siemens AG Erlangen, Germany
Moffett, R.	Atomic Energy of Canada Limited, Canada
Notafrancesco, A.	Nuclear Regulatory Commission, United States of America
Tripputi, I.	Società Gestione Impianti Nucleari, Italy
Vidard, M.	Electricité de France SEPTEN, France

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

ОРГАНЫ, УЧАСТВУЮЩИЕ В ОДОБРЕНИИ НОРМ БЕЗОПАСНОСТИ

Звездочкой (*) отмечены члены-корреспонденты. Членам-корреспондентам направляются проекты документов для замечаний, а также другая документация, но они, как правило, не принимают участия в работе совещаний.

Комиссия по нормам безопасности

Аргентина: Oliveira, A.; *Бразилия*: Caubit da Silva, A.; *Канада*: Pereira, J.K.; *Франция*: Gauvain, J.; Lacoste, A.-C.; *Германия*: Renneberg, W.; *Индия*: Sukhatme, S.P.; *Япония*: Tobioka, T.; Suda, N.; *Корея, Республика*: Eun, S.; *Российская Федерация*: Малышев, А.Б.; Вишневский, Ю.Г.; *Испания*: Azuara, J.A.; Santoma, L.; *Швеция*: Holm, L.-E.; *Швейцария*: Schmocker, U.; *Украина*: Грищенко, В.; *Соединенное Королевство*: Hall, A.; Williams, L.G. (председатель); *Соединенные Штаты Америки*: Travers, W.D.; *МАГАТЭ*: Karbassioun, A. (координатор); *Международная комиссия по радиологической защите*: Clarke, R.H.; *Агентство по ядерной энергии ОЭСР*: Shimomura, K.

Комитет по нормам ядерной безопасности

Аргентина: Sajaroff, P.; *Австралия*: MacNab, D.; **Беларусь*: Судаков, И.; *Бельгия*: Govaerts, P.; *Бразилия*: Salati de Almeida, I.P.; *Болгария*: Гантчев, Т.; *Канада*: Hawley, P.; *Китай*: Wang, J.; *Чешская Республика*: Böhm, K.; **Египет*: Hassib, G.; *Финляндия*: Reiman, L. (председатель); *Франция*: Saint Raymond, P.; *Германия*: Feige, G.; *Венгрия*: Vöröss, L.; *Индия*: Kushwaha, H.S.; *Ирландия*: Hone, C.; *Израиль*: Hirshfeld, H.; *Япония*: Yamamoto, T.; *Корея, Республика*: Lee, J.-I.; *Литва*: Demcenko, M.; **Мексика*: Delgado Guardado, J.L.; *Нидерланды*: de Munk, P.; **Пакистан*: Hashimi, J.A.; **Перу*: Ramírez Quijada, R.; *Российская Федерация*: Баклушин, Р.П.; *Южная Африка*: Bester, P.J.; *Испания*: Mellado, I.; *Швеция*: Jende, E.; *Швейцария*: Aeberli, W.; **Таиланд*: Tanipanichskul, P.; *Турция*: Alten, S.; *Соединенное Королевство*: Hall, A.; *Соединенные Штаты Америки*: Mayfield, M.E.; *Европейская комиссия*: Schwartz, J.-C.; *МАГАТЭ*: Bevington, L. (координатор); *Международная организация по стандартизации*: Nigon, J.L.; *Агентство по ядерной энергии ОЭСР*: Hrehor, M.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

Комитет по нормам радиационной безопасности

Аргентина: Rojkind, R.H.A.; *Австралия*: Melbourne, A.; **Беларусь*: Рыдлевский, Л.; *Бельгия*: Smeesters, P.; *Бразилия*: Amaral, E.; *Канада*: Bundy, K.; *Куба*: Betancourt Hernandez, A.; *Чешская Республика*: Drabova, D.; *Дания*: Ulbak, K.; **Египет*: Hanna, M.; *Финляндия*: Markkanen, M.; *Франция*: Piechowski, J.; *Германия*: Landfermann, H.; *Венгрия*: Koblinger, L.; *Индия*: Sharma, D.N.; *Ирландия*: Colgan, T.; *Израиль*: Laichter, Y.; *Италия*: Sgrilli, E.; *Япония*: Yamaguchi, J.; *Корея, Республика*: Kim, C.; **Мадагаскар*: Andriambololona, R.; **Мексика*: Delgado Guardado, J.; **Нидерланды*: Zuur, C.; *Норвегия*: Saxebol, G.; **Перу*: Medina Gironzini, E.; *Польша*: Merta, A.; *Российская Федерация*: Кутков, В.; *Словакия*: Jurina, V.; *Южная Африка*: Olivier, J.H.L.; *Испания*: Amor, I.; *Швеция*: Hofvander, P.; Moberg, L.; *Швейцария*: Pfeiffer, H.J.; **Таиланд*: Pongpat, P.; *Турция*: Uslu, I.; *Украина*: Лихтарев, И.А.; *Соединенное Королевство*: Robinson, I. (председатель); *Соединенные Штаты Америки*: Paperiello, C.; *Европейская комиссия*: Janssens, A.; *МАГАТЭ*: Boal, T. (координатор); *Международная комиссия по радиологической защите*: Valentin, J.; *Международное бюро труда*: Niu, S.; *Международная ассоциация радиационной защиты*: Webb, G.; *Международная организация по стандартизации*: Perrin, M.; *Международная ассоциация радиационной защиты*: Webb, G.; *Агентство по ядерной энергии ОЭСР*: Lazo, T.; *Панамериканская организация здравоохранения*: Jimenez, P.; *Научный комитет ООН по действию атомной радиации*: Gentner, N.; *Всемирная организация здравоохранения*: Carr, Z.

Комитет по нормам безопасности перевозки

Аргентина: López Vietri, J.; *Австралия*: Colgan, P.; **Беларусь*: Зайцев, С.; *Бельгия*: Cottens, E.; *Бразилия*: Mezrahi, A.; *Болгария*: Бакалова, А.; *Канада*: Viglasky, T.; *Китай*: Pu, Y.; **Дания*: Hannibal, L.; *Египет*: El-Shinawy, R.M.K.; *Франция*: Aguilar, J.; *Германия*: Rein, H.; *Венгрия*: Sáfár, J.; *Индия*: Nandakumar, A.N.; *Ирландия*: Duffy, J.; *Израиль*: Koch, J.; *Италия*: Trivelloni, S.; *Япония*: Saito, T.; *Корея, Республика*: Kwon, S.-G.; *Нидерланды*: Van Halem, H.; *Норвегия*: Hornkjøl, S.; **Перу*: Regalado Campaña, S.; *Румыния*: Vieru, G.; *Российская Федерация*: Ершов, В.Н.; *Южная Африка*: Jutle, K.; *Испания*: Zamora Martin, F.; *Швеция*: Pettersson, B.G.; *Швейцария*: Knecht, B.; **Таиланд*: Jerachanchai, S.; *Турция*: Köksal, M.E.; *Соединенное Королевство*: Young, C.N. (председатель); *Соединенные Штаты Америки*: Brach, W.E.; McGuire, R.; *Европейская комиссия*: Rossi, L.; *Международная ассоциация воздушного транспорта*: Abouchaar, J.; *МАГАТЭ*: Wangler, M.E. (координатор); *Международная*

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

организация гражданской авиации: Rooney, K.; *Международная федерация ассоциаций линейных пилотов*: Tisdall, A.; *Международная морская организация*: Rahim, I.; *Международная организация по стандартизации*: Malesys, P.; *Экономическая комиссия Организации Объединенных Наций для Европы*: Kervella, O.; *Всемирный институт по ядерным перевозкам*: Lesage, M.

Комитет по нормам безопасности отходов

Аргентина: Siraky, G.; *Австралия*: Williams, G.; **Беларусь*: Роздяловская, Л.; *Бельгия*: Baekelandt, L. (председатель); *Бразилия*: Xavier, A.; **Болгария*: Симеонов, Г.; *Канада*: Ferch, R.; *Китай*: Fan, Z.; *Куба*: Benitez, J.; **Дания*: Øhlenschlaeger, M.; **Египет*: Al Adham, K.; Al Sorogi, M.; *Финляндия*: Rukola, E.; *Франция*: Averous, J.; *Германия*: von Dobschütz, P.; *Венгрия*: Czoch, I.; *Индия*: Raj, K.; *Ирландия*: Pollard, D.; *Израиль*: Avraham, D.; *Италия*: Dionisi, M.; *Япония*: Irie, K.; *Корея, Республика*: Song, W.; **Мадагаскар*: Andriambolona, R.; *Мексика*: Aguirre Gómez, J.; *Нидерланды*: Selling, H.; **Норвегия*: Sorlie, A.; *Пакистан*: Hussain, M.; **Перу*: Gutierrez, M.; *Российская Федерация*: Полуэктов, П.П.; *Словацкая Республика*: Konecny, L.; *Южная Африка*: Pather, T.; *Испания*: López de la Higuera, Ruiz López, C.; *Швеция*: Wingefors, S.; *Швейцария*: Zurkinden, A.; **Таиланд*: Wangcharoenroong, B.; *Турция*: Osmanlioglu, A.; *Соединенное Королевство*: Wilson, C.; *Соединенные Штаты Америки*: Greeves, J.; Wallo, A.; *Европейская комиссия*: Taylor, D.; *МАГАТЭ*: Hioki, K. (координатор); *Международная комиссия по радиологической защите*: Valentin, J.; *Международная организация по стандартизации*: Hutson, G.; *Агентство по ядерной энергии ОЭСР*: Riotte, H.

Настоящая публикация была заменена публикацией SSG-53.

МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
ВЕНА
ISBN 978–92–0–402408–1
ISSN 1020–5845