

СЕРИЯ НОРМ МАГАТЭ ПО БЕЗОПАСНОСТИ

Проектирование
системы
теплоносителя
реактора и связанных
с ней систем атомных
электростанций

РУКОВОДСТВА

№ NS-G-1.9



IAEA

Международное агентство по атомной энергии

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ
ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ РЕАКТОРА
И СВЯЗАННЫХ С НЕЙ СИСТЕМ
АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Членами Международного агентства по атомной энергии являются следующие государства:

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

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

Серия норм по безопасности, № NS-G-1.9

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ
ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ РЕАКТОРА
И СВЯЗАННЫХ С НЕЙ СИСТЕМ
АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ

МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
ВЕНА, 2008 ГОД

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
Апрель 2008

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ РЕАКТОРА И
СВЯЗАННЫХ С НЕЙ СИСТЕМ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

МАГАТЭ, ВЕНА, 2008
STI/PUB 1187
ISBN 978-92-0-403008-2
ISSN 1020-5845

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 консультативные органы: Консультативная комиссия по нормам безопасности (ККНБ); 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.

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 мирные применения ядерной энергии и радиоактивных материалов осуществлялись 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 меру заботливости.

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 правовых систем такое законодательство (включая правила) и другие нормы и меры, которые могут быть необходимы для эффективного выполнения всех взятых на себя международных обязательств.

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. Использование формулировки “следует” означает рекомендацию желательного варианта.

Официальным текстом является английский вариант.

СОДЕРЖАНИЕ

1.	ВВЕДЕНИЕ	1
	Общие сведения (1.1–1.3)	1
	Цель (1.4)	1
	Область применения (1.5–1.6)	2
	Структура (1.7–1.8)	2
2.	СТР И СВЯЗАННЫЕ С НЕЙ СИСТЕМЫ (2.1–2.3)	3
	Система теплоносителя реактора (2.4–2.6)	3
	Подсоединенные системы (2.7)	4
	Связанные системы (2.8)	5
	Конечный поглотитель тепла (2.9)	5
3.	ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ (3.1)	5
	Цели проектирования (3.2–3.7)	6
	Системы безопасности в СТРСС (3.8)	7
	Классификация безопасности (3.9–3.12)	9
	Проектные аварии (3.13–3.20)	10
	Постулируемые исходные события (3.21–3.23)	11
	Вопросы сейсмостойкости (3.24–3.27)	12
	Надежность (3.28–3.35)	13
	Выбор материалов (3.36–3.38)	14
	Обеспечение защиты от превышения давления (3.39–3.46)	15
	Предотвращения накопления горючего газа (3.47)	17
	Вопросы компоновки (3.48–3.57)	17
	Вопросы сопряжения (3.58–3.65)	19
	Вопросы изоляции (3.66–3.69)	21
	Контрольно-измерительные приборы и система управления (3.70–3.74)	22
	Обеспечение проведения инспекций в ходе эксплуатации, испытаний и технического обслуживания (3.75–3.80)	23
	Соображения в случае многоблочных атомных электростанций (3.81–3.82)	25
	Усовершенствованные конструкции реактора (3.83–3.84)	25

4. СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОНКРЕТНЫХ СИСТЕМ (4.1–4.2)	26
Система теплоносителя реактора (4.3–4.47)	26
Системы контроля воднохимического режима и количества теплоносителя, включая систему очистки для реакторов BWR (4.48–4.61)	36
Система аварийного ввода бора (4.62–4.67)	39
Система аварийного охлаждения активной зоны реактора (4.68–4.91)	40
Система отвода остаточного тепла (4.92–4.104)	45
Система паропроводов и питательной воды (4.105–4.114)	48
Вспомогательная система питательной воды (4.115–4.128)	50
Промежуточные контуры охлаждения (4.129–4.137)	52
Конечный поглотитель тепла и связанные с ним системы теплопередачи (4.138–4.154)	54
ДОПОЛНЕНИЕ: СТР И СВЯЗАННЫЕ С НЕЙ СИСТЕМЫ В ТЯЖЕЛОВОДНЫХ РЕАКТОРАХ КАНАЛЬНОГО ТИПА	59
СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	65
ПРИЛОЖЕНИЕ I: ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СТР	67
ПРИЛОЖЕНИЕ II: СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ СТР И СВЯЗАННЫХ С НЕЙ СИСТЕМ	71
ПРИЛОЖЕНИЕ III: КЛАССИФИКАЦИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И КЛАССЫ БЕЗОПАСНОСТИ УСТРОЙСТВ СОПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ПАРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ	77
ГЛОССАРИЙ	81
СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ	83
ОРГАНЫ, УЧАСТВУЮЩИЕ В ОДОБРЕНИИ НОРМ БЕЗОПАСНОСТИ	85

1. ВВЕДЕНИЕ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Настоящее Руководство по безопасности было подготовлено в соответствии с программой МАГАТЭ по разработке норм безопасности для атомных электростанций. Основные требования к проектированию систем безопасности для атомных электростанций установлены в публикации по требованиям безопасности из Серии норм безопасности, № NS-R-1 “Безопасность атомных электростанций: проектирование” [1], которую оно дополняет. В настоящем Руководстве по безопасности описывается, как следует выполнять требования к проектированию системы теплоносителя реактора (СТР) и связанных с ней систем АЭС.

1.2. Данная публикация представляет собой пересмотренный вариант, составленный из двух выпущенных ранее руководств по безопасности: Серии изданий по безопасности, № 50-SG-D6 “Конечный поглотитель тепла и непосредственно связанные с ним системы теплопередачи для атомных электростанций” (1982) и Серии изданий по безопасности, № 50-SG-D13 “Система теплоносителя реактора и связанные с ней системы на атомных электростанциях” (1989), которые заменяет настоящее новое Руководство по безопасности.

1.3. В пересмотренном варианте учтены новые события, произошедшие в области проектирования СТР и связанных с ней систем АЭС со времени публикации выпущенных ранее руководств по безопасности соответственно в 1982 и 1989 годах. Другие цели пересмотра сводятся к обеспечению соответствия с документом [1], выпущенным в 2003 году, и обновлению технического содержания. Кроме того, добавлено дополнение по реакторам с тяжеловодным теплоносителем и замедлителем под давлением (реакторам PHWR).

ЦЕЛЬ

1.4. Настоящее Руководство по безопасности имеет целью обеспечение регулирующих органов, проектировщиков и лицензиатов атомных электростанций рекомендациями и руководящими материалами по проектированию СТР и связанных с ней систем, в дальнейшем именуемой СТРС. Оно дополняет требования, изложенные в документе [1].

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

1.5. Настоящее Руководство по безопасности предназначено прежде всего для наземных стационарных атомных электростанций с водоохлаждаемыми реакторами, используемыми для производства электроэнергии или для других тепловых применений (таких, как централизованное теплоснабжение или опреснение). Необходимо отметить, что в случае реакторов других типов, включая инновационные разработки будущих систем, некоторые части настоящего Руководства по безопасности могут оказаться неприменимыми или потребовать экспертных заключений в отношении их толкования.

1.6. В настоящем Руководстве по безопасности рассматривается СТРСС, включая конечные поглотители тепла, как они определены в разделе 2. Рассмотрены соображения, касающиеся проектирования СТРСС, которые являются общими для различных типов реакторов, с учетом ограничения, изложенного в пункте 1.5. Дополнительные руководящие материалы для реакторов PHWR (реакторов с тяжеловодным теплоносителем и замедлителем под давлением) приводятся в Дополнении. Область применения не распространяется на детальное проектирование конкретных элементов, например, насосов или теплообменников.

СТРУКТУРА

1.7. В разделе 2 приведено описание состава СТРСС. В разделе 3 излагаются общие концепции и рекомендации по безопасному проектированию, которые являются общими для СТРСС. В разделе 4 представлены особые соображения по безопасному проектированию для каждой из систем, перечисленных в разделе 2.

1.8. Основное внимание в настоящем Руководстве по безопасности уделено нынешнему поколению реакторов (в Дополнении и Приложениях I–III содержатся дополнительные рекомендации, руководящие материалы и практические примеры реакторов нынешнего поколения). Информация о применимости представленных здесь руководящих материалов к стандартной конструкции, которая значительно отличается от современных конструкций водоохлаждаемых реакторов, содержится в подразделе “Усовершенствованные конструкции реакторов” раздела 3.

2. СТР И СВЯЗАННЫЕ С НЕЙ СИСТЕМЫ

2.1. СТРСС состоит из СТР, подсоединенных к ней систем, связанных с ней систем и конечного поглотителя тепла. Конфигурации СТРСС для PWR и для BWR показаны на рис. П–2 и П–3 Приложения П.

2.2. Интерфейсы между СТРСС и конструкциями обсуждаются в разделе 3.

2.3. Перечень СТР и элементов представлен в Приложении I, а в Приложении П приведены примеры типичных конфигураций СТРСС.

СИСТЕМА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ РЕАКТОРА

2.4. Во всех типах реакторов в состав СТР входят элементы, необходимые для обеспечения надлежащего потока теплоносителя реактора, но не входят тепловыделяющие элементы и элементы управления реактивностью, описанные в [2].

2.5. В водоохлаждаемых реакторах всех типов границы барьера давления (удерживающего давление контура) СТР распространяются до первого пассивного барьера или первого активного изолирующего устройства включительно (если смотреть со стороны активной зоны)¹. В случае реакторов с непрямым циклом, таких, как реакторы, охлаждаемые водой под давлением (реакторы (PWR), барьер давления СТР охватывает первый контур парогенераторов (см. Приложение П). В реакторах с прямым циклом, таких, как реакторы, охлаждаемые кипящей водой (реакторы BWR), барьер давления СТР также включает систему рециркуляции теплоносителя первого контура и паропроводы и трубопроводы питательной воды включительно до наиболее удаленного отсечного клапана.

2.6. Дальнейшие конструктивные особенности реакторов PHWR канального типа рассматриваются в Дополнении.

¹ В некоторых государствах практикуется включение дополнительных барьеров или устройств, которые также считаются частью СТР.

ПОДСОЕДИНЕННЫЕ СИСТЕМЫ

2.7. “Подсоединенные системы” – это системы, которые подсоединяются непосредственно к СТР или, в некоторых конструкциях PWR, ко второму контуру парогенераторов. Вместе с другими системами и элементами подсоединенные системы выполняют функции по обеспечению целостности СТР при нормальной эксплуатации или после ожидаемых переходных процессов или в условиях проектной аварии. К системам, которые выполняют эти функции безопасности, относятся:

- системы текучих сред для управления реактивностью;
- системы контроля воднохимического режима и количества теплоносителя реактора, включая системы очистки теплоносителя реактора;
- систему аварийного ввода бора, если она предусмотрена;
- системы аварийного охлаждения активной зоны реактора²;
- системы отвода остаточного тепла;
- системы главных паропроводов и трубопроводов питательной воды для реакторов PWR и PHWR;
- вспомогательная система питательной воды и аварийные системы питательной воды или эквивалентные системы (если они предусмотрены) для реакторов PWR и PHWR;
- системы сброса избыточного давления, включая разгрузочные и/или предохранительные клапаны, отводящие трубопроводы клапанов и любое связанное с ними оборудование³;
- система сбора тяжелой воды для реакторов PHWR (см. Дополнение).

Другие сопряженные системы (например, системы отбора проб и системы охлаждения отработавшего топлива) не рассматриваются в настоящем Руководстве по безопасности; однако при проектировании СТРСС следует принимать во внимание их взаимодействие с СТР.

² На этапе рециркуляции при работе системы аварийного охлаждения активной зоны реактора часть спринклерной системы защитной оболочки может использоваться для рециркуляции воды приемка перед ее инжектированием в активную зону для долгосрочного отвода остаточного тепла. Эта система описана в [3].

³ Например, барботажный бак реактора PWR и бассейн компенсации давления реактора BWR.

СВЯЗАННЫЕ СИСТЕМЫ

2.8. “Связанные системы” – это системы, весьма важные для СТР и подсоединенных систем, к которым относятся прежде всего системы для передачи тепловой энергии конечному поглотителю тепла, такие, как:

- система технического водоснабжения для охлаждения элементов;
- промежуточные контуры охлаждения;
- главная система технического водоснабжения;
- система замедлителя и ее система охлаждения для реакторов PHWR (см. Дополнение).

КОНЕЧНЫЙ ПОГЛОТИТЕЛЬ ТЕПЛА

2.9. Конечный поглотитель тепла обычно представляет собой определенный объем воды, подземные воды или атмосферу, куда при нормальной эксплуатации, ожидаемых при эксплуатации событиях или в аварийных условиях сбрасывается некоторая часть или все остаточное тепло. Когда такой средой, выбранной в качестве конечного поглотителя тепла, является вода, следует учитывать перечисленные ниже факторы:

- размер источника водоснабжения;
- тип источника охлаждающей воды (например, океан, озеро, естественный или техногенный водоем или река);
- источники подпитки конечного поглотителя тепла;
- способность теплоотвода обеспечивать в эксплуатационных состояниях, аварийных условиях или режимах остановки реактора необходимый поток охлаждающей воды с соответствующими температурами.

3. ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

3.1. В настоящем разделе излагаются основные концепции и рекомендации по безопасному проектированию, которые являются общими для СТРСС. В разделе 4 приведены специфические соображения по безопасному проектированию для каждой из систем, перечисленных в разделе 2.

ЦЕЛИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

3.2. Главная цель СТРСС заключается в поддержании надлежащего расхода и качества теплоносителя, с тем чтобы обеспечить отвод тепла из активной зоны во всех эксплуатационных состояниях и в условиях проектной аварии и впоследствии. СТРСС может также использоваться для смягчения последствий проектных аварий и запроектных аварий.

3.3. К другим целям СТРСС относятся регулирование реактивности, химический контроль теплоносителя реактора и отвод тепла от других систем безопасности.

3.4. Достижение всех этих целей следует обеспечивать посредством соответствующих предусмотренных в проекте мер. Эти меры могут быть различными в зависимости от типа реактора, эксплуатационных условий и места нахождения станции (например, в плане условий окружающей среды).

3.5. Для достижения указанных выше целей следует предусматривать, чтобы конструкция СТРСС обеспечивала выполнение указанных ниже задач:

- обеспечение и поддержание запаса теплоносителя в реакторе, достаточного для охлаждения активной зоны во всех эксплуатационных состояниях и в условиях проектной аварии, и отвод выделяющегося тепла к конечному поглотителю тепла;
- поддержание достаточного расхода теплоносителя, с тем чтобы обеспечить соблюдение проектных пределов для топлива, как обсуждается в [2];
- предотвращение неконтролируемых⁴ потерь теплоносителя в первом контуре теплоносителя реактора;
- поддержание достаточной реактивной способности и предотвращение неконтролируемого введения реактивности с целью обеспечения соблюдения проектных пределов для топлива, как обсуждается в [2].

3.6. Не следует допускать, чтобы отказ элементов СТРСС создавал угрозу для целей безопасности СТРСС, определенных в пунктах 3.2 и 3.3.

⁴ Примером неконтролируемой потери теплоносителя в первом контуре теплоносителя реактора является событие с разрывом трубопровода СТР или течь корпуса реактора. С другой стороны, открытие предохранительных клапанов приводит к контролируемой потере теплоносителя в первом контуре теплоносителя реактора.

3.7. Рекомендации по проектированию СТРСС следует формулировать таким образом, чтобы никакое постулируемое внутреннее или внешнее исходное событие не могло привести к возникновению более серьезных условий на станции, которые могли бы повлиять на целостность оболочки твэлов или барьера давления СТРСС.

СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ В СТРСС

3.8. Некоторые подсоединенные и связанные системы в СТРСС предусмотрены для смягчения последствий проектных аварий и поэтому они считаются системами безопасности. В зависимости от проектных решений, имеется некоторая гибкость в отношении того, как требующиеся функции безопасности связываются с различными системами; например, в некоторых конструкциях PWR вспомогательная система питательной воды смягчает последствия проектных аварий и поэтому является системой безопасности, в то время как в других конструкциях вспомогательная система питательной воды не используется для смягчения последствий проектных аварий. Привязка функций безопасности к подсоединенным и связанным системам может быть различной, но следует обеспечивать, чтобы каждая система безопасности в СТРСС имела следующие общие характерные признаки, обеспечивающие высокий уровень уверенности²⁾ в том, что она будет надлежащим образом выполнять предписанные для нее функции безопасности:

- 1) *Достаточные функциональные возможности.* Следует предусматривать, чтобы система обладала достаточными функциональными возможностями, позволяющими ей выполнять предписанные функции и обеспечивать высокий уровень уверенности в том, что не будут превышены проектные пределы для топлива и СТР. При определении требующихся функциональных возможностей системы следует принимать во внимание большинство неблагоприятных условий, в которых, как ожидается, будет работать система.
- 2) *Единый отказ.* Систему следует проектировать таким образом, чтобы никакой единый отказ не мог предотвратить выполнение предписанной для нее функции безопасности или функций безопасности других систем.
- 3) *Электроснабжение и аварийное энергоснабжение.* Следует предусматривать соответствующую систему аварийного энергоснабжения

(переменного тока или постоянного тока) элементов, которые требуются для приведения в действие или эксплуатации системы.

- 4) *Защита от внешних событий [4, 5] и внутренних опасностей [6].* Систему следует проектировать и компоновать таким образом, чтобы никакое внешнее событие или внутренняя опасность, учтенные при проектировании (такие, как разрыв трубопровода или наводнение), не могли воспрепятствовать выполнению системой предписанных ей функций безопасности. В частности, следует предусматривать, чтобы функциональные возможности системы или ее компонентов сохранялись в самых тяжелых сейсмических условиях, учитываемых при проектировании.
- 5) *Классификация безопасности, своды положений и нормы и оценка механической конструкции.* Систему следует классифицировать с точки зрения безопасности и проектировать с учетом требований безопасности в соответствии с признанными на международном или национальном уровне сводами положений и нормами. Следует обеспечивать, чтобы она обладала способностью выдерживать нагрузки и условия окружающей среды, возникающие в результате воздействия всех ожидаемых условий эксплуатации в течение срока службы станции.
- 6) *Экологическая аттестация.* Следует проводить аттестацию системы для работы в самых тяжелых условиях окружающей среды (включая сейсмические условия), в которых, как ожидается, она будет эксплуатироваться.
- 7) *Мониторинг состояния и поведения системы.* Следует предусматривать возможность мониторинга состояния и готовности системы при нормальной эксплуатации. В случаях, указанных в разделе 4, следует предусматривать возможность мониторинга системы в ходе аварии.
- 8) *Периодические испытания, инспекции и техническое обслуживание в рабочем режиме:* см. положения в настоящем разделе, касающиеся инспекций, испытаний и технического обслуживания в процессе эксплуатации, пункты 3.75-3.80.
- 9) *Ручное управление.* Следует предусматривать возможность ручного управления системой из основного помещения щита управления и, в надлежащих случаях, из дополнительного помещения щита управления.

КЛАССИФИКАЦИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

3.9. Соответствующее требование ([1], пункт 5.1) гласит: “Все конструкции, системы и элементы, включая программное обеспечение для контрольно-измерительных приборов и систем управления защитой (КИП и СУЗ), которые являются узлами, важными для безопасности, первоначально должны быть определены, а затем классифицированы на основе их функций и значимости с точки зрения безопасности. Проектирование, конструирование и техническое обслуживание этих узлов должно осуществляться с таким расчетом, чтобы их качество и надежность соответствовали этой классификации”.

3.10. Далее требование ([1], пункт 5.2) предписывает: “Метод классификации конструкций, систем или элементов на основе их значимости для безопасности прежде всего должен быть основан на детерминированных методах, дополненных при необходимости вероятностными методами и инженерно-техническими заключениями, с учетом таких факторов, как:

- 1) функция(и) безопасности, которую(ые) выполняет данный узел;
- 2) последствия отказа выполнять свою функцию;
- 3) вероятность того, что от данного узла потребуется выполнение функции безопасности;
- 4) время после [постулируемого исходного события] (ПИС) или период, в течение которого от него потребуется действие”.

3.11. Следует классифицировать функции и значимость для безопасности, по меньшей мере, тех конструкций, систем и элементов (КСЭ) в СТРСС, которые выполняют следующие функции безопасности:

- обеспечение функционирования сдерживающих давление частей СТР, отказ которых может привести к аварии с потерей теплоносителя в масштабах, превышающих нормальные возможности подпитки теплоносителя реактора;
- обеспечение барьеров для продуктов деления;
- отвод тепла из активной зоны;
- обеспечение аварийного охлаждения активной зоны (путем прямой подачи теплоносителя в активную зону);
- введение отрицательной реактивности с целью перевода реактора в подкритический режим или его поддержания в подкритическом режиме.

3.12. Рекомендации в отношении принципов классификации содержатся в [7]. Пример принципов классификации безопасности приводится в Приложении III.

ПРОЕКТНЫЕ ОСНОВЫ

3.13. Для формирования проектных основ (критериев приемлемости) СТРСС следует проводить анализ ПИС (см. “постулируемые исходные события” в настоящем разделе, пункты 3.21–3.23).

3.14. Конструкции, системы и элементы СТРСС следует проектировать, изготавливать, возводить, строить, проверять и инспектировать согласно надлежащим и апробированным сводам положений и нормам, соответствующим важности выполняемой функции безопасности.

3.15. Следует обеспечивать, чтобы конструкция таких элементов СТРСС, как корпуса высокого давления, трубопроводы, насосы и клапаны, соответствовала надлежащим национальным сводам положений и нормам или практике в инженерно-технической области (см. [1], пункт 3.6) или используемым на международном уровне сводам положений и нормам или практике.

3.16. При проектировании важных для безопасности КСЭ в составе СТРСС следует учитывать все внешние опасности, такие, как сейсмические опасности (дополнительную информацию см. в подразделе “Вопросы сейсмостойкости” настоящего раздела, пункты 3.24–3.27), торнадо, летящие предметы, наводнения и ураганы, которые могут возникать во всех эксплуатационных состояниях и в условиях проектной аварии.

3.17. В проектных основах (наборе проектных условий и требований) для СТРСС и их элементов следует указывать:

- предполагаемую степень функционирования контрольно-измерительных приборов и систем управления станции в нормальных условиях эксплуатации;
- надежность функционирования систем станции, которые обычно работают;
- степень необходимости действий оператора и надежность этих действий;
- требуемую степень функционирования защитных систем станции и систем аварийной защиты реактора;
- требуемую степень работоспособности систем безопасности;
- надлежащие запасы на случай неправильного срабатывания.

3.18. Наиболее широко используемым методом проектирования СТРСС является детерминированный метод, в котором КСЭ проектируются таким образом, чтобы они соответствовали руководящим правилам. Этот подход

обычно дополняется вероятностной оценкой риска с целью проверки того, что станция в том виде, как она спроектирована, не имеет каких-либо неприемлемо слабых мест.

3.19. В целях разработки хорошо сбалансированного проекта следует уделять надлежащее внимание резервированию и неодинаковости систем и элементов. Для систем безопасности это соображение следует базировать на детерминированном подходе, таком, как применение критерия единичного отказа, дополняемое подходом с учетом риска⁵.

3.20. При проектировании следует принимать во внимание останова оборудования (см. [1], пункт 5.42).

ПОСТУЛИРУЕМЫЕ ИСХОДНЫЕ СОБЫТИЯ

3.21. Следует составлять перечень ПИС для использования при анализе безопасности СТРС. Следует принимать во внимание вероятность возникновения событий и их потенциальных последствий. Для станций, на которых предусматривается профилактическое обслуживание на мощности, следует оценивать необходимость учета ПИС, которое совпадает с техническим обслуживанием одной цепи системы безопасности.

3.22. При составлении перечня ПИС следует также рассматривать в соответствии с [1] сочетания событий, учитываемых при проектировании СТРС.

⁵ Рассмотрение с учетом риска является подходом к использованию вероятностной оценки риска в решениях относительно изменений в основе лицензирования, связанных с особенностями конкретной станции. При формулировании проекта СТРС с использованием регулирующих принципов, основанных на учете риска, следует произвести переоценку других аспектов проектирования, касающихся глубокоэшелонированной защиты, запасов безопасности, частоты повреждения активной зоны, заданных пределов для выбросов радиоактивного материала и мониторинга функционирования. Поэтому для обеспечения соответствия проекта требованиям безопасности может использоваться подход с учетом риска. Если исследование риска указывает на необходимость введения дополнительных требований, то их следует вводить с целью обеспечения адекватности проекта и его соответствия целевым уровням риска.

3.23. К ПИС, которые могут значительно повлиять на проектирование СТРСС, относятся:

- разрывы трубопроводов первого и второго контуров;
- аварийное отключение турбины, нарушение герметичности конденсатора, закрытие быстродействующих запорных отсечных клапанов (в BWR) и отказ регулятора давления пара;
- прекращение потока теплоносителя реактора (например, вследствие отказа циркуляционного насоса);
- случайное открытие разгрузочного клапана;
- падение стержня (в BWR), выбрасывание стержня (в PWR) или аварии, связанные с разбавлением борного поглотителя (в PWR);
- отказ внешнего электроснабжения;
- отказ трубопровода теплообменника в PWR (например, разрыв трубы парогенератора);
- внутренние летящие предметы;
- внутреннее затопление;
- пожары;
- землетрясения;
- внешние летящие предметы;
- наводнения и другие природные явления;
- результаты или последствия деятельности человека (за исключением саботажа).

ВОПРОСЫ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ

3.24. Конструкции, системы и элементы СТРСС следует классифицировать и относить к соответствующим категориям сейсмостойкости в соответствии с рекомендациями и руководящими материалами, содержащимися в [4]. КСЭ в составе СТРСС, независимо от класса безопасности, к которому они относятся, следует считать относящимися к категории сейсмостойкости I, если они необходимы для выполнения любой из перечисленных ниже операций:

- поддержание целостности барьера давления СТРСС;
- обеспечение и поддержание отвода остаточного тепла,
- обеспечение останова реактора и поддержание его в этом состоянии,
- смягчение последствий сейсмических явлений.

3.25. Конструкции, системы и элементы СТРСС следует проектировать с учетом сейсмических колебаний грунта на площадке и категории сейсмической

активности, к которой они относятся, в соответствии с процедурами, изложенными в [8]. Следует предусматривать надлежащие крепления, кронштейны и амортизаторы, обеспечивающие соблюдение соответствующих ограничений по напряжениям и деформациям и соблюдение критериев безотказности.

3.26. При проектировании в соответствии с анализом безопасности следует принимать во внимание динамическое воздействие неустойчивостей потока и динамических нагрузок (например, гидравлических ударов), вызываемых землетрясениями. Путем использования методов, указанных в [1], пункты I.14–I.18, следует учитывать возможность возникновения определенных сочетаний событий, связанных с землетрясениями, и других ПИС, которые могут происходить независимо от землетрясений, и следует предусматривать соответствующие меры, учитывающие возможность возникновения таких сочетаний событий.

3.27. При проектировании следует обеспечивать, чтобы отказ КСЭ СТРСС или других систем, не спроектированных в соответствии с требованиями категории сейсмостойкости I, не приводил к отказу тех систем, которые спроектированы в соответствии с требованиями категории сейсмостойкости I.

НАДЕЖНОСТЬ

3.28. Следует обеспечивать, чтобы системы, гарантирующие выполнение функции безопасности, имели достаточный уровень надежности, соответствующий функции безопасности, которую они выполняют. При оценке надежности системы следует уделять надлежащее внимание как резервированию, так и неодинаковости.

3.29. Одного только резервирования может быть недостаточно для обеспечения надлежащего уровня надежности ввиду отказов по общей причине; их можно компенсировать за счет неодинаковости. При оценке потенциальной пользы неодинаковости следует учитывать:

- последствия различных эксплуатационных условий;
- влияние различных процессов изготовления на надежность элементов;
- влияние на надежность элементов различных технологических процессов, основанных на различных физических методах;

- потенциальные положительные или отрицательные последствия повышенной сложности технического обслуживания и/или повышенной нагрузки на операторов в случае аварии.

3.30. Поскольку системы с функциями избыточности или неодинаковости также потенциально уязвимы к воздействию событий (например, пожаров, наводнений), приводящих к отказам по общей причине, следует использовать настолько, насколько это практически возможно, соответствующие физические барьеры или физическое разделение, или сочетание этих мер.

3.31. Для подтверждения надлежащей надежности систем могут использоваться методы вероятностного анализа.

3.32. При использовании детерминированных методов может отпасть необходимость задания целевых численных значений надежности систем и элементов. Однако следует обеспечивать, чтобы надежность систем и элементов соответствовала их важности для безопасности.

3.33. Следует проверять и подтверждать пригодность любых компьютерных кодов, используемых при анализе безопасности. Следует обеспечивать, чтобы методы расчетов, используемые в компьютерном коде, соответствовали его назначению.

3.34. Ошибки оператора могут значительно повлиять на надежность систем и элементов, необходимых для выполнения функции безопасности, и поэтому при проектировании СТРСС следует уделять надлежащее внимание сведению к минимуму возможных ошибок человека.

3.35. Если в начальной фазе переходного процесса важную роль играют действия оператора, следует проводить оценку последствий задержки и/или ошибок со стороны оператора в отношении заранее определенных приемлемых пределов.

ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ

3.36. Следует обеспечивать, чтобы материалы, используемые для барьера давления СТРСС, были совместимы с заключенным в них теплоносителем, с контактируемыми материалами (например, материалами сварочных швов) и с соприкасающимися элементами или материалами, такими, как поверхности скольжения, валы и сальники, покрытия или продукты радиолитической

коррозии. Следует обеспечивать, чтобы материалы, определенные для СТРСС, соответствовали надлежащим положениям используемого свода положений и обладали, наряду с прочим, следующими свойствами и характеристиками:

- теплостойкостью;
- прочностью, стойкостью к ползучести и усталости;
- коррозионной и эрозионной стойкостью;
- устойчивостью к коррозионному растрескиванию под воздействием напряжения/деформации;
- радиационной стойкостью;
- сопротивлением отпускной хрупкости;
- характеристиками пластичности (включая скорость трещинообразования);
- характеристиками трещиностойкости (стойкости к трещинообразованию);
- легкостью в изготовлении (в том числе свариваемостью);
- устойчивостью к воздействию реакций металлов с водой.

3.37. Следует выбирать материалы, соответствующие условиям эксплуатации, ожидаемым во всех эксплуатационных состояниях и в условиях проектной аварии.

3.38. Если выбранные материалы не соответствуют техническим требованиям, их следует аттестовывать посредством анализа, испытаний, учета и анализа опыта эксплуатации, либо путем использования перечисленных выше методов в сочетании.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАЩИТЫ ОТ ПРЕВЫШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

3.39. Все сдерживающие давление элементы СТРСС следует защищать от воздействия условий избыточного давления согласно соответствующим сводам положений и нормам.

3.40. Все сдерживающие давление элементы СТРСС следует проектировать с соответствующим запасом безопасности с целью обеспечения того, чтобы не был нарушен барьер давления и чтобы в эксплуатационных состояниях или в условиях проектной аварии не были превышены проектные пределы для топлива.

3.41. Следует обеспечивать, чтобы проект СТР включал надлежащие функции защиты от избыточного давления; иными словами, он должен обеспечивать способность СТР регулировать параметры парообразных и жидких сред. В проекте следует предусматривать разгрузочные и/или предохранительные клапаны.

3.42. При защите от превышения давления следует применять концепцию глубокоэшелонированной защиты. При проектировании защиты от превышения давления СТР следует применять принцип неодинаковости с целью снижения вероятности отказов по общей причине. Следует обеспечивать, чтобы конструкция устройств защиты от превышения давления отражала их значимость с точки зрения безопасности и гарантировала их функционирование в условиях наиболее неблагоприятных ПИС.

3.43. Защита от превышения давления в границах барьера давления теплоносителя реактора может достигаться посредством следующих мер или действий:

- контроля давления в системе [9];
- средств для поддержания давления в системе в рамках эксплуатационных пределов (например, с помощью систем регулирования количества теплоносителя);
- устройств для сброса избыточного давления, таких, как разгрузочные или предохранительные клапаны;
- системы аварийной защиты реактора [9].

3.44. Примерами способов снижения и/или контроля давления в СТР являются:

- распыление в компенсаторе давления (в реакторах PWR);
- открытие предохранительных клапанов компенсатора давления для реакторов PWR и выпускных клапанов компенсатора давления для реакторов PHWR;
- открытие предохранительных клапанов;
- открытие байпасных клапанов турбины;
- открытие предохранительных клапанов паропровода острого пара;
- остановка реактора, начатая системой аварийной защиты реактора;
- предотвращение чрезмерной инжекции теплоносителя (например, при эксплуатации СТР с изолированным компенсатором давления во время переходного процесса разогрева в реакторах PHWR);
- при запуске или останове реактора, сбросе теплоносителя реактора через СТРСС или – в случае реакторов PWR – посредством функций

ограничения в системах управления воднохимическим режимом и количеством теплоносителя.

3.45. При проектировании и определении мест нахождения разгрузочных и/или предохранительных клапанов в СТР, компенсаторе давления (в реакторах PWR) и в других взаимосвязанных емкостях (если таковые имеются) следует учитывать критерий единичного отказа, с тем чтобы во всех эксплуатационных состояниях и в условиях проектной аварии можно было поддерживать давление в границах барьера давления СТР без превышения проектных пределов.

3.46. Следует обеспечивать достаточную пропускную способность предохранительных и/или разгрузочных клапанов в СТР, с тем чтобы ограничивать рост давления и поддерживать давление в рамках установленных проектных пределов во время всех эксплуатационных переходных процессов и в аварийных условиях, рассмотренных при проектировании СТР, согласно соответствующему своду положений и нормам для емкостей под давлением. Следует обеспечивать, чтобы число клапанов было достаточным для обеспечения необходимой степени резервирования.

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ НАКОПЛЕНИЯ ГОРЮЧЕГО ГАЗА

3.47. Водород и кислород, образующиеся при разложении H_2O (или D_2O) в активной зоне, могут растворяться в воде и паре и переноситься к любой части СТР и подсоединенных систем. Газы, растворенные в паропроводах, могут легко накапливаться при остывании и конденсации пара в перекрытом участке трубопровода. Локальное накопление газообразного водорода в СТР может приводить к возникновению потенциальной опасности взрыва, способного привести к серьезному повреждению. Следует предусматривать такую конструкцию, которая исключала бы возможность накопления горючего газа.

ВОПРОСЫ КОМПОНОВКИ

3.48. При проектировании компоновки СТРСС следует уделять внимание:

- радиационной защите персонала на площадке;
- защите от последствий разрыва трубопровода;
- защите от внутренних летящих предметов;
- мерам по удалению газов из теплоносителя реактора и по его дренажу;
- мерам, облегчающим проведение испытаний и инспекций.

3.49. Следует обеспечивать такую компоновку систем безопасности, чтобы в случае отказа в одной цепи защиты или в случае возникновения любых внутренних и/или внешних опасностей (например, землетрясения, пожара и затопления) сохранялась минимальная необходимая работоспособность.

3.50. Следует рассматривать необходимость дренажа помещений и пола и обеспечивать, чтобы применяемые меры соответствовали максимальному уровню внешнего затопления для площадки.

3.51. Следует предусматривать такую компоновку СТР, чтобы в случае полного отказа энергоснабжения насосов в эксплуатационных состояниях, а также в конкретных условиях проектной аварии отвод остаточного тепла обеспечивался за счет естественной циркуляции теплоносителя реактора.

Защита от облучения

3.52. При проектировании компоновки СТРСС следует предусматривать возможности проведения инспекций, технического обслуживания, ремонта и замены КСЭ, с учетом необходимости радиационной защиты персонала на площадке.

3.53. Для целей радиационной защиты:

- системы и элементы, в которых может циркулировать загрязненная вода, следует снабжать надлежащей биологической защитой;
- части подсоединенной системы, расположенные между СТР и ее первым отсечным клапаном, включая собственно клапан, которые обычно закрыты в ходе нормальной эксплуатации, следует проектировать в соответствии с теми же нормами безопасности, которые применяются в случае СТР;
- гидравлические системы, проходящие через защитную оболочку и выходящие за ее пределы, следует делать надежными и предусматривать в них устройства для изоляции потока, способные сохранять функцию безопасности и обеспечивать функционирование защитной оболочки. Участок, проходящий через защитную оболочку включительно до барьера потока, следует считать продолжением границы защитной оболочки и при его проектировании следует обеспечивать надлежащие уровни качества и функционирования в соответствии с применимыми сводами положений и нормами. Эти системы, если они не снабжены средствами оперативного и надежного определения утечек и быстрой изоляции, следует считать

продолжением границы защитной оболочки и их следует проектировать соответствующим образом;

- гидравлические системы, сопряженные с элементами и системами, в которых циркулирует загрязненная вода, следует проектировать таким образом, чтобы предотвращались или сводились к минимуму утечки и чтобы либо не была возможной никакая утечка радиоактивных продуктов, либо могли быть оперативно обнаружены любые измеримые утечки;
- следует сводить к минимуму длину трубопроводов, содержащих радиоактивный материал, в зонах, где возможно облучение персонала;
- при детальном проектировании станции следует сводить к минимуму щелевые зазоры и другие локальные конфигурации, где могут накапливаться радиоактивный шлам и обломки.

3.54. Проектные меры по обеспечению радиационной защиты дополнительно обсуждаются в [10].

Защита от последствий разрывов трубопроводов

3.55. Следует уделять внимание компоновке системы трубопроводов и конструкции кронштейнов, поддерживающих трубопроводы, с целью обеспечения защиты КСЭ от последствий разрывов трубопроводов.

3.56. В описании проекта СТРСС следует указывать энергонапряженные трубопроводы, в которых возможно возникновение внезапных разрывов, и системы, которые должны быть защищены от динамических эффектов таких разрывов. Дополнительные сведения приводятся в [6].

Удаление и дренаж теплоносителя

3.57. Следует предусматривать меры по сбору теплоносителя, удаляемого и дренируемого из СТРСС. Утечки при эксплуатации реактора могут происходить, в частности, в клапанах с двойным уплотнением штока, седлах клапанов, сальниках насосов и в полостях между прокладками.

ВОПРОСЫ СОПРЯЖЕНИЯ

3.58. Следует обеспечивать соответствующие сопряжения для соединений между системами или элементами, принадлежащими к различным классам безопасности (см. Приложение III). Эти устройства сопряжения должны предотвращать утрату функции безопасности системы или элемента с более

высокой классификацией безопасности и предотвращать выброс радиоактивного материала. Следует обеспечивать, чтобы устройство сопряжения принадлежало к тому же классу безопасности, что и система или элемент более высокого класса безопасности, с которой или с которым оно соединено.

3.59. Следует обеспечивать, чтобы надежность сопряжения соответствовала функциям безопасности соответствующих систем и чтобы были учтены соображения, обсужденные в подразделе “Надежность” настоящего раздела (пункты 3.28–3.35).

3.60. При проектировании конструкций СТРСС следует учитывать их воздействие на общую безопасность станции. При разработке проекта станции следует обеспечивать поддержание в допустимых пределах температуры конструкций и элементов, сопряженных с СТРСС, и предусматривать возможность проведения инспекций в процессе эксплуатации. Элементы и конструкции, которые крепятся непосредственно к защитной оболочке, следует проектировать таким образом, чтобы их отказ не приводил к потере герметичности защитной оболочки.

3.61. В число вопросов, учитываемых при проектировании сопряжений, следует включать уровни расхода, различные условия нагружения, времена реакции⁶ и потенциальные возможности теплообмена.

3.62. Примерами нагрузок на опорные конструкции СТРСС являются:

- собственный вес элементов в штатных и нештатных режимах эксплуатации;
- тепловое расширение в стационарных или переходных режимах;
- нагрузки, вызываемые землетрясениями;
- нагрузки в переходных режимах.

3.63. К конструкциям, сопряженным с СТРСС, относятся, в частности:

- здания, в которых закреплены или размещены СТРСС;
- опоры оборудования и трубопроводов;
- демпфирующие устройства и их анкеры;

⁶ Время реакции – это промежуток времени, необходимый для того, чтобы элемент достиг заданного выходного состояния.

- ограничители биения трубопроводов;
- проходки в здании;
- барьеры, экраны и защитные сооружения;
- прямки ядерного реактора.

3.64. При проектировании СТРСС следует также учитывать ограничения, налагаемые вспомогательными системами и конструкциями. К вспомогательным системам относятся, например, вентиляционные системы, системы сжатого воздуха, электроэнергетические системы и контрольно-измерительные приборы и система управления.

3.65. При проектировании системы следует надлежащим образом учитывать влияние проектных условий других систем, т.е. СТРСС и/или систем, рассмотренных в других публикациях МАГАТЭ, как указано ниже.

- (1) Влияние различных размеров и/или мест нахождения разрывов в барьере давления КСЭ на:
 - рекомендации в отношении проектирования спринклерной системы (см. [3]);
 - рекомендации в отношении проектирования защитной оболочки (см. [3]);
 - полезное давление на всасывающей стороне инжекционных и рециркуляционных насосов системы аварийного охлаждения активной зоны реактора.
- (2) Влияние компоновки элементов СТР на (см. [3]):
 - соображения, связанные с изоляцией защитной оболочки, при определении мест расположения отсечных клапанов и их времен закрытия;
 - проектирование вентиляционной системы.
- (3) Влияние конструкции парогенератора на проектные условия аварийной системы питательной воды.

ВОПРОСЫ ИЗОЛЯЦИИ

3.66. В местах сопряжения СТР с подсоединенными к ней системами, работающими при пониженных давлениях, следует предусматривать надлежащую изоляцию с целью предотвращения воздействий избыточного

давления на такие системы и исключения возможных аварий с потерей теплоносителя. Следует учитывать характеристики и важность изоляции и ее целевые показатели надежности. Следует обеспечивать, чтобы изолирующие устройства были нормально закрыты или при необходимости закрывались автоматически. Следует обеспечивать, чтобы время реакции и скорость закрытия соответствовали критериям приемлемости, определенным для постулируемых исходных событий (см. руководящие материалы в [3]).

3.67. Трубопроводы, входящие в первичную защитную оболочку, и трубопроводы, подсоединенные к барьеру давления теплоносителя реактора, следует снабжать надлежащей изоляцией. Изолирующие устройства в эксплуатационных состояниях и в аварийных условиях могут быть либо открыты, либо закрыты, в зависимости от их проектных требований и требуемых функций безопасности.

3.68. Если трубопровод системы должен проходить через стенку защитной оболочки, то следует предусматривать, чтобы проходки защитной оболочки соответствовали рекомендациям по безопасному проектированию применительно к аттестации проекта и изоляции защитной оболочки (см. руководящие материалы в [3]).

3.69. Следует обеспечивать аттестацию важных для безопасности отсечных клапанов и устройств по результатам испытаний на воздействие самых тяжелых ожидаемых условий окружающей среды (см. руководящие материалы в [3]).

КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

3.70. Для активизации соответствующих систем безопасности и предоставления операторам реактора достаточной информации, с тем чтобы они могли определить состояние СТРСС [11], следует предусматривать контрольно-измерительные приборы и систему управления на уровне класса систем безопасности [9]. Следует предусматривать, чтобы контрольно-измерительные приборы и система управления обеспечивали непрерывный мониторинг условий на станции во время нормальной эксплуатации станции, а также во время ожидаемых событий.

3.71. Измерительные линии⁷ следует проектировать таким образом, чтобы не происходило искажения контролируемых параметров (например, уровня, частоты, времени реакции, химических характеристик).

3.72. Следует обеспечивать, чтобы при всех событиях класса ПИС контрольно-измерительные приборы и система управления в плане ручного или автоматического приведения в действие функционировали так, как предполагается в анализе переходных процессов и анализе аварий.

3.73. В соответствии с положениями [9] следует предусматривать средства дозиметрического контроля всех текучих сред, которые могут стать радиоактивными.

3.74. Следует предусматривать возможность обнаружения любой утечки теплоносителя реактора и, насколько это практически осуществимо, определения места утечки. Следует также предусматривать возможность мониторинга и сбора утечек из всех источников. Эти меры следует надлежащим образом дополнять индикаторами и тревожными сигналами в главном щитовом помещении.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОВЕДЕНИЯ ИНСПЕКЦИЙ В ХОДЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ИСПЫТАНИЙ И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

3.75. Конструкции, системы и элементы СТРСС следует проектировать таким образом, чтобы облегчалось выполнение работ по проведению инспекций и испытаний и не происходило чрезмерного облучения персонала на площадке. Следует разрабатывать соответствующие программы инспекций в процессе эксплуатации для всего срока службы станции, а также для периода пусконаладочных работ.

⁷ Измерительные линии являются частью датчиков, как определено в [9]. Поэтому на измерительные линии распространяются общие требования к системе защиты реактора и связанным с ней функциям и к связанным с безопасностью контрольно-измерительным приборам и системам управления.

3.76. Интервалы⁸, методы, места проведения и критерии приемлемости инспекций следует устанавливать в соответствии со значимостью для безопасности КСЭ в составе СТРСС, с тем чтобы повысить вероятность своевременного обнаружения любого ухудшения структурной целостности СТРСС. В других случаях для определения интервалов инспекций, а также мест проведения инспекций могут использоваться методы инспекций в процессе эксплуатации, основанные на учете риска.

3.77. Конструкции, системы и элементы, важные для безопасности, следует inspectировать в течение их срока службы посредством контроля их способности выполнять предписанные функции безопасности, а также физической целостности, включая любое изменение свойств и характеристик используемых материалов. В предписанных методах инспекций и испытаний не следует применять требования по проведению инспекций и испытаний, которые выходят за рамки апробированных методов или других приемлемых методов.

3.78. При периодических испытаниях следует в необходимых случаях моделировать условия, в которых, как ожидается, должны эксплуатироваться системы и/или элементы. Однако условия испытаний следует выбирать так, чтобы не возникала угроза безопасности станции.

3.79. С целью сохранения облучения inspectирующего персонала на разумно достижимом низком уровне и в рамках любых пределов, установленных законодательством или регулирующим органом, при проведении инспекций в процессе эксплуатации может использоваться автоматизированное или дистанционно управляемое оборудование.

3.80. Рекомендации и руководящие материалы по инспекциям и техническому обслуживанию в течение эксплуатации станции содержатся в [12].

⁸ Во многих государствах предписанный интервал для волнометрических инспекций барьера давления на легководных реакторах составляет 8–10 лет; однако на практике часть КСЭ inspectируется ежегодно, с тем чтобы вся инспекция барьера давления была завершена в пределах указанных интервалов.

СООБРАЖЕНИЯ В СЛУЧАЕ МНОГООБЛОЧНЫХ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

3.81. Если важные для безопасности КСЭ используются как общие для двух или более ядерных энергетических реакторов, то следует подтверждать соблюдение всех рекомендаций и соображений в отношении безопасности для каждого реактора. В случае проектной аварии на реакторе, имеющем общие КСЭ с другими реакторами, следует подтверждать возможность надлежащего расхолаживания активной зоны и отвода остаточного тепла на другом(их) реакторе(ах). Следует обеспечивать, чтобы надежность совместно используемых КСЭ соответствовала выполняемым функциям безопасности, и следует надлежащим образом рассматривать возможность того, что определенное событие может привести к необходимости одновременной остановки двух или более реакторов.

3.82. Следует обеспечивать, чтобы рабочие характеристики и пригодность совместно используемых КСЭ гарантировали их работоспособность в условиях наиболее неблагоприятных ПИС. Таким неблагоприятным ПИС может быть событие, воздействующее на один или несколько реакторов.

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЕ КОНСТРУКЦИИ РЕАКТОРОВ

3.83. При оценке применимости рекомендаций и руководящих материалов настоящего Руководства по безопасности к усовершенствованным конструкциям реакторов следует учитывать результаты определения и оценки различий в ключевых проектных решениях между предложенными усовершенствованными конструкциями реакторов и нынешним поколением реакторов LWR и HWR.

3.84. В случае конструкций реакторов, значительно отличающихся от тех, которые составляют современную базу данных по опыту лицензирования и эксплуатации, новые системы и элементы следует подвергать достаточной проверке с целью обеспечения понимания и прогнозируемости их теплогидравлического поведения. Следует проводить анализ данных и оценки с помощью компьютерных кодов, причем для прогнозирования поведения усовершенствованной конструкции реактора в том, что касается анализа переходных процессов и анализа аварий, требуемых для лицензирования, следует использовать проверенный компьютерный код. Настоящее Руководство по безопасности можно использовать для оценки соответствия надежности КСЭ предписанным для них функциям безопасности в том случае, если

выполняемые ими функции аналогичны тем, которые реализованы в нынешнем поколении реакторов LWR.

4. СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОНКРЕТНЫХ СИСТЕМ

4.1. В разделе 4 обсуждаются соображения, касающиеся проектирования конкретных систем в составе СТРСС для выполнения предписанных для них функций безопасности. Для различных конструкций водо-водяных реакторов функции безопасности могут быть реализованы по-разному. Упрощенные структурные схемы, на которых показаны основные компоненты и функциональные особенности нескольких типичных конструкций СТРСС, представлены в Приложении II.

4.2. Приведенные ниже соображения, касающиеся конкретных систем, относятся к реакторам PWR и BWR. Соображения, касающиеся конкретных систем для реакторов PHWR, приведены в Дополнении.

СИСТЕМА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ РЕАКТОРА

4.3. СТР представляет собой контур теплоносителя реактора под давлением и, таким образом, барьер для защиты от радиоактивных выбросов во всех режимах эксплуатации станции. СТР обеспечивает транспортировку теплоносителя и, таким образом, тепла из активной зоны реактора либо к парогенерирующим системам, либо непосредственно к турбогенератору. СТР также является частью маршрута транспортировки тепловой энергии от активной зоны реактора к конечному поглотителю тепла во время останова и во всех переходных режимах, рассматриваемых при проектировании СТР.

Общие соображения

4.4. При проектировании СТР следует уделять внимание обеспечению целостности барьера давления системы и достижению высокого уровня ее эксплуатационной надежности. Кроме того, для смягчения последствий ограниченных отказов следует рассматривать возможность использования концепции «утечки перед разрывом» или методов предотвращения разрывов.

4.5. Следует предотвращать возникновение чрезмерных проблем для целостности СТР. Как минимум, следует предусмотреть меры для:

- обнаружения любого ухудшения способности отвода тепла из активной зоны или любого ухудшения элементов, важных для безопасности (например, посредством измерения эксплуатационных параметров теплопередачи, контроля утечек теплоносителя реактора и обнаружения незакрепленных деталей системы);
- обеспечения того, чтобы отказы в СТР вне корпуса ядерного реактора не приводили к значительным радиологическим последствиям для населения.

4.6. Чтобы исключить нарушения естественной циркуляции теплоносителя реактора, в высоко расположенных точках СТР следует предусматривать дистанционно управляемые клапаны для выпуска в аварийных условиях неконденсирующихся газов в объем защитной оболочки. Эти клапаны следует проектировать таким образом, чтобы:

- они соответствовали всем рекомендациям по безопасности и выдерживали воздействие условий окружающей среды, ожидаемых в процессе их предполагаемого использования;
- они управлялись из помещения щита управления;
- было обеспечено достаточное резервирование клапанов, удовлетворяющее возможным требованиям в отношении надежности функции удаления;
- был сведен к минимуму риск ошибочного открытия клапанов.

Следует обеспечивать, чтобы производительность системы удаления газов и жидкостей соответствовала производительности системы подпитки.

Корпус реактора

4.7. Поскольку серьезная неисправность корпуса реактора может привести к тяжелому повреждению активной зоны, особое внимание следует уделять обеспечению крайне низкой вероятности такого отказа. Одним из подходов к обеспечению крайне низкой вероятности такого отказа является проектирование корпуса реактора в соответствии с действующими сводами положений и нормами безопасности.

4.8. При проектировании корпуса реактора следует учитывать изложенные ниже соображения.

- 1) Число сварных швов в корпусе реактора следует сводить к минимуму; в частности, следует оценивать необходимость выполнения сварных соединений в области активной зоны.
- 2) Для корпуса реактора следует устанавливать пределы по давлению и температуре, а стенку корпуса реактора следует проектировать таким образом, чтобы она выдерживала все циклические нагрузки, которые ожидаются в течение срока службы станции. В проектную документацию следует включать четкие спецификации тех нагрузок, которые требуются для определения совокупного коэффициента использования.
- 3) Следует обеспечивать выбор материалов, конструкционное проектирование, сварку и тепловую обработку таким образом, чтобы на протяжении всего срока службы станции было гарантировано сохранение достаточной пластичности материала корпуса реактора. Пластичность обращенной к активной зоне стенки корпуса реактора следует обеспечивать посредством ограничения максимального нейтронного флюенса и путем такого подбора химического состава основного материала и металла сварных швов, чтобы уровень радиационного охрупчивания не превышал приемлемого уровня.
- 4) Следует предусматривать конструкцию корпуса реактора, при которой корпус сможет выдерживать термические удары под давлением⁹ без нарушения целостности.
- 5) Следует обеспечивать, чтобы сварные швы допускали исследование всего давления стенки через стенку корпуса. При таких исследованиях можно использовать, например, ультразвуковые, основанные на вихревых токах или магнитные методы дефектоскопии.

⁹ При переходных процессах переохлаждения в некоторых типах реакторов PWR быстрое охлаждение может сопровождаться повышением давления в первом контуре. Напряжения, связанные с повышением давления, суммируются с термическими напряжениями. Если вязкость разрушения стали корпуса реактора сохраняется относительно высокой, не ожидается, что такие переходные процессы будут приводить к отказу корпуса реактора. Однако если событие с переохлаждением возникает после того, как вязкость разрушения корпуса реактора снизилась в результате нейтронного облучения, событие, включающее тяжелый термический удар под давлением (ТУД), может вызвать распространение ранее существовавшего вблизи внутренней поверхности корпуса реактора дефекта через стенку корпуса. В зависимости от развития аварии, сквозная трещина в стенке может привести к расплавлению активной зоны; поэтому эта проблема признается важной при оценке целостности корпуса реактора. В различных государствах с целью совершенствования и подтверждения пригодности анализа ТУД выполняются обширные исследовательские программы по вероятностному и детерминированному анализу ТУД.

- 6) Следует предусматривать, чтобы не поддающиеся инспекциям сварные швы находились только в тех зонах, отказ в которых не приведет к аварии со значительными радиологическими последствиями для населения.
- 7) При формулировании критериев для инспектирования следует учитывать:
 - минимальный размер обнаруживаемого дефекта при неразрушающем контроле;
 - ожидаемый рост трещин в эксплуатационных состояниях и в условиях проектной аварии;
 - максимальный приемлемый дефект в эксплуатационных состояниях.

4.9. Если в корпусе реактора или в СТРСС предполагается использовать усовершенствованные материалы, то образцы этих материалов следует облучать высоким потоком быстрых нейтронов и воздействию условий, существующих в корпусе реактора. Их следует периодически подвергать исследованиям на протяжении всего срока службы станции с целью контроля изменений физических свойств (особенно пластичности и твердости) и выработки прогнозов относительно поведения материала.

Внутрикорпусные устройства ядерного реактора

4.10. Внутрикорпусные устройства ядерного реактора (опорные конструкции активной зоны, корзину активной зоны реактора BWR и другие внутренние устройства, за исключением тепловыделяющих элементов, элементов управления реактивностью, механизмов привода управляющих стержней и контрольно-измерительных приборов в активной зоне) следует проектировать таким образом, чтобы они:

- выдерживали воздействие землетрясений без потери работоспособности;
- выдерживали воздействие условий окружающей среды, ожидаемых при нормальной эксплуатации, при ожидаемых в ходе эксплуатации событиях и в условиях проектной аварии, включая аварии с потерей теплоносителя, при техническом обслуживании и при испытаниях;
- предотвращали неприемлемые вибрации, создаваемые потоком теплоносителя;
- выдерживали асимметричные реактивные нагрузки, возникающие при разрывах трубопроводов;
- обеспечивали соблюдение проектных пределов для топлива при нормальной эксплуатации или ожидаемых при эксплуатации событиях.

4.11. Следует таким образом выбирать материалы, практические методы изготовления, исследования, методики испытаний и химический контроль теплоносителя реактора с целью предотвращения коррозионного растрескивания под напряжением, чтобы обеспечивалось противодействие процессам ухудшения характеристик во время эксплуатации и сохранялась конструктивная целостность.

4.12. Следует учитывать эффекты коррозионного растрескивания под напряжением, вызывающие ухудшение характеристик внутрикорпусных устройств ядерного реактора, важных для безопасности.

4.13. Следует также учитывать горизонтальные нагрузки, вызываемые, например, сейсмическими явлениями, которые могут усиливать коррозионное растрескивание под напряжением.

4.14. В оценки безопасности станции следует включать рассмотрение, например, используемых материалов, воднохимического режима, нейтронного флюенса и использования зажимных приспособлений для обеспечения конструктивной целостности.

Главные циркуляционные насосы, включая рециркуляционные насосы реакторов BWR

4.15. СТР и насосы теплоносителя реактора следует проектировать таким образом, чтобы они создавали достаточный поток теплоносителя реактора с надлежащими гидравлическими параметрами и тем самым обеспечивалось соблюдение проектных пределов для топлива в эксплуатационных состояниях.

4.16. Следует обеспечивать, чтобы насосы СТР обладали надлежащими характеристиками работы в режиме выбега потока в случае аварийного отключения насоса при переходном процессе или в условиях проектной аварии, с тем чтобы избежать нежелательных теплогидравлических режимов теплоносителя реактора, отрицательно сказывающихся на целостности топлива.

4.17. Насосы следует проектировать таким образом, чтобы они выдерживали теплогидравлический режим теплоносителя реактора и все циклические нагрузки, ожидаемые в условиях проектной аварии и эксплуатационных состояниях. При проектировании следует уделять особое внимание поддержанию герметичности насосов.

4.18. Насосы следует проектировать таким образом, чтобы неблагоприятные теплогидравлические условия в СТР или нарушения в работе насосов не приводили к образованию летящих предметов. В качестве альтернативы следует предусматривать меры по защите важных для безопасности узлов от любых таких летящих предметов.

Парогенераторы реакторов PWR и HWR

4.19. Трубы парогенератора и их внутренние конструкции следует проектировать с учетом максимальных напряжений и наиболее тяжелых усталостных режимов, ожидаемых в эксплуатационных состояниях и в условиях проектной аварии (например, в условиях, возникающих в результате разрыва паропровода). Следует оптимизировать структуру потока в парогенераторах, с тем чтобы предотвратить возникновение зон застоя потока (во избежание накопления осадков) и неприемлемых вибраций труб, создаваемых потоком теплоносителя.

4.20. Следует обеспечивать, чтобы проект допускал инспекцию труб парогенератора по всей их длине. Следует предусматривать, чтобы оборудование и процедуры для дефектоскопии труб позволяли обнаруживать и определять местонахождение значительных дефектов.

4.21. Следует вести постоянную регистрацию данных о результатах испытаний. В них следует включать данные о выборе образцов для испытаний труб, инспекционных интервалах и процедурах или мерах, которые должны быть приняты в случае выявления дефектов, а также результаты исходной инспекции труб, проведенной до пуска станции.

4.22. В проекте следует также предусматривать:

- контроль водородного показателя pH и концентрации кислорода;
- ограничение концентрации загрязнителей и примесей в питательной воде и во втором контуре парогенератора;
- отбор проб текучих сред из второго контура;
- введение в питательную воду химических присадок;
- контроль электропроводности и радиоактивного загрязнения проб текучих сред;
- очистку.

4.23. В конструкции парогенераторов следует предусматривать надлежащую систему для обнаружения и сигнализации утечек из труб.

4.24. Переполнение парогенератора может возникать как следствие ПИС; эту проблему следует решать прежде всего при проектировании или также посредством разработки процедур.

4.25. Сложные нагрузки, такие, как нагрузки, создаваемые гидравлическими ударами и тепловой и/или гидравлической стратификацией, следует рассматривать для режимов эксплуатации, в которых они могут возникать.

Системы трубопроводов

4.26. Расположение трубопроводов и оборудования следует задавать таким образом, чтобы сводились к минимуму создаваемые потоком теплоносителя вибрации, эффекты старения, акустическое возбуждение, тепловая усталость и накопление радиоактивных материалов. Следует также сводить к минимуму вредные последствия аварийного затопления.

4.27. Следует предусматривать такое расположение трубопроводов и мест нахождения оборудования, которое способствует естественной циркуляции, когда она необходима. Следует предусматривать возможности выпуска жидкости и газа из системы трубопроводов и ее дренирования. Следует обеспечивать, чтобы проект удовлетворял требованиям в отношении разделения резервного оборудования и предотвращал отказ резервных элементов и систем по общей причине.

4.28. Следует предусматривать, чтобы компоновка трубопроводов и оборудования обеспечивала их достаточную доступность, позволяющую выполнять при необходимости техническое обслуживание и инспекции, включая техническое обслуживание и инспекции сварных швов и проверку функциональной пригодности опор трубопроводов. Следует также обеспечивать, чтобы она допускала, в случае необходимости, наблюдение и мониторинг функционирования оборудования и элементов.

4.29. Следует обеспечивать, чтобы конструкция опор трубопроводов соответствовала нормам для системы трубопроводов. Оценку напряжений в трубопроводах и элементах следует выполнять в соответствии с применимыми сводами положений и нормами в ядерной области.

4.30. Следует задавать такие условия эксплуатации, чтобы риск коррозионного растрескивания под напряжением сводился к минимуму.

4.31. Особое внимание следует уделять сведению к минимуму утечек радиоактивных текучих сред из клапанов. Следует задавать допустимые уровни утечек теплоносителя, при которых возможно продолжение нормальной эксплуатации реактора. Следует предусматривать систему контроля и сбора любых утечек.

4.32. Рекомендации и руководящие материалы по защите от последствий разрыва трубопровода содержатся в [6]. При оценке последствий разрыва трубопровода следует учитывать:

- влияние теплоносителя реактора на теплогидравлические параметры;
- влияние на такие химические параметры, как концентрация бора в теплоносителе реактора (для PWR и PHWR);
- усилия и нагрузки, воздействующие на СТР и создаваемые потоком вытекающей жидкости или газа;
- волны давления (гидравлические удары) в СТР.

Компенсатор давления и устройства сброса давления

4.33. В реакторах PWR и PHWR компенсатор давления, если он предусмотрен, следует непосредственно соединять с СТР. Его основная функция сводится к обеспечению того, чтобы изменения количества теплоносителя в реакторе или термодинамических условий не приводили к неприемлемым проблемам для барьера давления СТР. С этой целью компенсатор давления следует проектировать таким образом, чтобы:

- сохранялся достаточный объем паровой фазы, позволяющий скомпенсировать переходные процессы, связанные с изменением давления в СТР;
- были предусмотрены системы, такие, как спринклерные системы или нагреватели и устройства защиты от превышения давления, поддерживающие давление в допустимых пределах при нормальной эксплуатации и в переходных режимах вплоть до условий проектной аварии.

4.34. В СТР следует предусматривать надлежащую систему предохранительных клапанов и разгрузочных клапанов, с тем чтобы давление в системе не превышало уровня, разрешенного в проекте. Эта функция может также потребоваться в случае неисправностей в системе для поддержания нормального давления и запаса теплоносителя. Текучую среду, сбрасываемую через предохранительные и/или разгрузочные клапаны, следует собирать при

более низком давлении и возвращать в СТР после восстановления нормальных условий эксплуатации. Если система сбора представляет собой другой напорный сосуд, работающий при более низком давлении, то ее следует оснащать надлежащей защитой от превышения давления (например, с помощью системы предохранительных и/или разгрузочных клапанов). Эти клапаны могут сбрасывать собранную жидкость в приямок здания реактора, где регенерационная система спасения будет осуществлять сбор, очистку и восстановление запаса теплоносителя.

Функции

4.35. Следует предусматривать, чтобы компенсатор давления и система предохранительных клапанов выполняли перечисленные ниже функции:

- обеспечивали защиту от превышения давления в границах барьера давления теплоносителя реактора во всех эксплуатационных состояниях и всех других условиях, рассмотренных при их проектировании;
- ограничивали давление в реакторе в эксплуатационных состояниях;
- в реакторах PWR обеспечивали защиту от превышения давления в периоды эксплуатации при низких температурах (т.е. во время пуска и останова, когда компенсатор давления целиком заполнен водой).

Сопряжения

4.36. В реакторах PWR и BWR компенсатор давления и системы сброса давления могут быть сопряжены со следующими системами:

- СТР;
- системами электропитания переменного и постоянного тока;
- системами обогрева, вентиляции и кондиционирования воздуха;
- контрольно-измерительными приборами и системой управления;
- системой сжатого воздуха пневмосистем;
- защитной оболочкой и/или барботажным бассейном (в реакторах BWR).

Соображения, касающиеся изоляции

4.37. Следует предусматривать, чтобы во время эксплуатации реактора всегда имелся по меньшей мере один разгрузочный тракт. Следует обеспечивать, чтобы в разгрузочных трактах была предусмотрена функция изоляции для смягчения последствий ложного срабатывания предохранительных клапанов.

Барботажный бак компенсатора давления, если он имеется, следует оборудовать разрывными мембранами или эквивалентными устройствами.

Соображения, касающиеся функций безопасности

4.38. Разгрузочные клапаны, которые обеспечивают защиту от превышения давления во время работы на мощности, следует проектировать, предусматривая достаточное резервирование и способность предотвращать срабатывание предохранительных клапанов.

4.39. Предохранительные клапаны следует проектировать так, чтобы они обладали достаточной способностью поддерживать давление на уровнях ниже установленного предела.

4.40. Предохранительные и/или разгрузочные клапаны следует аттестовать для работы в условиях эксплуатации, ожидаемых во время переходных процессов и аварий.

4.41. Номинальные параметры, уставки и допуски уставок для всех предохранительных клапанов и разгрузочных клапанов следует выбирать таким образом, чтобы при всех рассмотренных при проектировании переходных процессах, которые могут приводить к увеличению давления, обеспечивалась защита барьера давления теплоносителя реактора.

4.42. Следует обеспечивать сохранение работоспособности системы защиты от превышения давления в случае отказа внешнего электроснабжения. Следует обеспечивать работоспособность системы при резервном электропитании от батареи или при полностью независимом электроснабжении от любого другого источника электроэнергии.

4.43. При проектировании системы защиты от превышения давления и ее элементов следует обеспечивать, чтобы в результате возможного ложного срабатывания разгрузочных клапанов в системе защиты от превышения давления не могли возникать никакие неприемлемые последствия (например, путем установки в главном щитовом помещении системы контроля положений клапанов).

4.44. Нагрузки и сочетания нагрузок, возникающие при работе системы защиты от превышения давления, следует учитывать при проектировании элементов, на которые оказывает влияние работа компенсатора давления и устройств сброса давления.

4.45. Следует обеспечивать, чтобы барботажный бак компенсатора давления, если он предусмотрен, имел объем, достаточный для приема пара, поступающего от устройств для сброса давления во время проведения работ по испытаниям клапанов или в ходе нормально протекающих переходных процессов.

4.46. Следует обеспечивать, чтобы пропускная способность разгрузки предохранительных мембран была не ниже суммарной пропускной способности разгрузочных клапанов компенсатора давления и предохранительных клапанов при наличии достаточного запаса.

4.47. Защиту от превышения давления следует также обеспечивать в периоды пуска или останова реактора. Как указано в пункте 3.44, способы снижения и/или контроля давления в СТР при запуске или останове реактора включают сброс теплоносителя реактора через СТРСС или – в случае реакторов PWR – посредством функций разрежения в системах контроля воднохимического режима и количества теплоносителя.

СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ВОДНОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА И КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ, ВКЛЮЧАЯ СИСТЕМУ ОЧИСТКИ ДЛЯ РЕАКТОРОВ BWR

Функции

4.48. Следует предусматривать, чтобы системы контроля воднохимического режима и количества теплоносителя обеспечивали выполнение по меньшей мере перечисленных ниже функций:

- контроля воднохимического режима теплоносителя (реакторов PWR и PHWR);
- контроля общего количества теплоносителя реактора;
- очистки теплоносителя реактора и удаления из него примесей;
- управления реактивностью реактора;
- снабжения насоса теплоносителя реактора уплотняющей водой (в реакторах PWR);
- снабжения водой вспомогательной системы впрыска компенсатора давления (в реакторах PWR).

4.49. Функции контроля воднохимического режима и запаса теплоносителя, перечисленные в пункте 4.48, выполняются главным образом при нормальной

эксплуатации и обычно не выполняются во время аварий. Однако части системы могут быть задействованы с целью достижения состояния безопасного останова после аномальных событий или аварий.

4.50. Системы контроля воднохимического режима и запаса теплоносителя следует считать системами, связанными с безопасностью. Следует обеспечивать резервирование насосов и средств аварийного энергоснабжения (см. [13]).

Сопряжения

4.51. Системы контроля воднохимического режима и количества теплоносителя могут быть сопряжены со следующими системами:

- СТР;
- системами электропитания переменного и постоянного тока;
- системой промежуточной охлаждающей воды;
- системой питательной воды;
- системами обработки радиоактивных отходов;
- системами обогрева, вентиляции и кондиционирования воздуха;
- контрольно-измерительными приборами и системой управления;
- системой сжатого воздуха пневмосистем.

Соображения, касающиеся изоляции

4.52. Не существует никаких дополнительных рекомендаций в отношении соображений, касающихся изоляции, помимо тех, которые изложены в разделе 3.

Контроль воднохимического режима теплоносителя реактора

4.53. Следует контролировать воднохимический режим теплоносителя (реакторов PWR и PHWR) с целью замедления коррозии активной зоны и элементов СТР, сведения к минимуму осаждения продуктов коррозии на топливе и корректировки концентрации нейтронного поглотителя в СТР.

4.54. При проектировании систем регулирования реактивности и останова следует учитывать влияние химических присадок на реактивность активной зоны (см. [2]).

Очистка теплоносителя реактора и удаление из него примесей

4.55. Следует предусматривать средства для очистки (т.е. обессоливания) теплоносителя реактора и удаления из него примесей (т.е. удаления химических примесей и продуктов деления и активации) во всех эксплуатационных режимах. Следует обеспечивать, чтобы системы очистки теплоносителя реактора и удаления из него примесей были способны удалять из реактора химические примеси и продукты деления и активации таким образом, чтобы:

- воднохимический режим и характеристики теплоносителя поддерживались в пределах, установленных при проектировании для активной зоны реактора (в том, что касается нейтронно-физических эффектов и ограничения коррозии; см. [2]). Следует обеспечивать, чтобы воднохимический режим соответствовал используемым материалам и эксплуатационным параметрам реактора;
- была обеспечена защита элементов СТР от коррозии;
- было сведено к минимуму радиоактивное загрязнение элементов СТР.

4.56. Следует предусматривать средства для дегазации теплоносителя реактора. Газы (такие, как газообразные продукты деления, водород и кислород) образуются в СТР или поглощаются этой системой. Следует учитывать возможность локального накопления в СТР горючих газов, таких, как водород¹⁰. В тех случаях, когда для соблюдения пределов безопасности эти газы необходимо удалять, следует использовать соответствующие химические или механические методы, такие, как удаление газов. Производительность устройств дегазации следует определять на основе максимальной прогнозируемой скорости газообразования (см. [10]).

Регулирование реактивности

4.57. В некоторых типах реакторов (например, реакторах PWR) одним из средств регулирования реактивности активной зоны является растворимый нейтронный поглотитель, такой, как борная кислота. При проектировании системы, используемой для регулирования концентрации нейтронного поглотителя в теплоносителе реактора (системы химического регулирования реактивности), следует соблюдать рекомендации, изложенные в [2].

¹⁰ В 2001 году на атомной электростанции с реактором BWR в Японии в результате накопления водорода в заглушенной трубе вблизи системы аварийного охлаждения активной зоны реактора произошел взрыв водорода.

4.58. При проектировании следует учитывать, посредством особых мер в сочетании с надлежащими процедурами, возможность случайного разбавления нейтронного поглотителя в теплоносителе реактора.

4.59. Ошибка оператора или нарушения в работе оборудования могут приводить к увеличению реактивности в результате поступления в СТР неборированной воды через системы контроля воднохимического режима и количества теплоносителя. Следует анализировать события с разбавлением борного поглотителя для всех режимов работы и для всего топливного цикла с целью подтверждения того, что проектные пределы для топлива и для СТР не превышаются.

4.60. При проектировании следует учитывать необходимость предотвращения осаждения борной кислоты в процессе работы системы химического регулирования реактивности.

Контроль запаса теплоносителя реактора

4.61. Следует не превышать систему контроля запаса теплоносителя реактора, обеспечивающую контролируемую подпитку и сброс теплоносителя в соответствии с изменениями давления во всех эксплуатационных состояниях таким образом, чтобы не были превышены эксплуатационные пределы и условия. Примерами изменений инвентарного количества теплоносителя, которые могут происходить во время эксплуатации станции, являются изменения, связанные с разогревом и охлаждением теплоносителя, запланированными и незапланированными изменениями мощности, отбором теплоносителя реактора для удаления из него примесей, потоками к насосам теплоносителя реактора для охлаждения уплотнений (в реакторах PWR и PHWR), вспомогательным распылением в компенсаторах давления (в реакторах PWR) и незначительными утечками теплоносителя.

СИСТЕМА АВАРИЙНОГО ВВОДА БОРА

Функции

4.62. В некоторых конструкциях реакторов предусмотрена система аварийного ввода бора, обеспечивающая оперативное введение растворимого поглотителя нейтронов в СТР и активную зону после аварии.

Сопряжения

4.63. Система аварийного ввода бора может быть сопряжена со следующими системами:

- СТР;
- системами электропитания переменного и постоянного тока;
- системой промежуточной охлаждающей воды;
- системой аварийного охлаждения активной зоны реактора;
- системой контроля воднохимического режима и количества теплоносителя;
- системами обогрева, вентиляции и кондиционирования воздуха;
- системой питательной воды;
- системой сжатого воздуха пневмосистем.

Соображения, касающиеся изоляции

4.64. Следует обеспечивать функциональную изоляцию системы аварийного ввода бора от СТР во время нормальной эксплуатации.

Соображения, касающиеся функций безопасности

4.65. Следует обеспечивать, чтобы изолирующие устройства не ухудшали надлежащую координацию срабатывания системы с СТР в тех случаях, когда требуется ее срабатывание.

4.66. Следует обеспечивать такое функционирование системы аварийного ввода бора, чтобы при авариях, в случае которых требуется ее срабатывание, не превышались проектные пределы для топлива и барьера давления СТР.

4.67. Следует предусматривать сохранение функции аварийного ввода бора в случае отказа внешнего электроснабжения.

СИСТЕМА АВАРИЙНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА

Функции

4.68. Основная функция системы аварийного охлаждения активной зоны реактора заключается в инжектировании в СТР воды с целью отвода из активной зоны тепловой энергии в случае проектных аварий.

4.69. В некоторых конструкциях система аварийного охлаждения активной зоны реактора выполняет также другие функции, такие, как:

- аварийный ввод бора;
- отвод остаточного тепла в сопряженную систему охлаждения;
- отвод тепла во время останова для перегрузки топлива;
- заполнение полостей, образовавшихся при перегрузке топлива.

Сопряжения

4.70. Система аварийного охлаждения активной зоны реактора может быть сопряжена со следующими системами:

- СТР;
- системой промежуточной охлаждающей воды;
- системами электропитания переменного и постоянного тока;
- контрольно-измерительными приборами и системой управления;
- системой сжатого воздуха пневмосистем;
- системами контроля воднохимического режима и количества теплоносителя (в реакторах PWR);
- системой защитной оболочки;
- системами обогрева, вентиляции и кондиционирования воздуха;
- автоматической системой сброса давления (в реакторах BWR);
- системой питательной воды (в реакторах BWR);
- баком запаса конденсата (в реакторах BWR);
- барботажным бассейном (в реакторах BWR и PHWR).

Соображения, касающиеся изоляции

4.71. Число и тип изолирующих устройств следует определять на основе следующих соображений:

- следует обеспечить изоляцию системы аварийного охлаждения активной зоны реактора от СТР во время нормальной эксплуатации;
- следует обеспечивать, чтобы в случае срабатывания системы аварийного охлаждения активной зоны реактора не ухудшались минимальные ожидаемые рабочие характеристики системы;
- следует обеспечивать возможность изоляции от СТР в случае ошибочного срабатывания системы аварийного охлаждения активной зоны реактора или, при необходимости, во время аварии (например, с целью предотвратить переполнение компенсатора давления);

— конфигурация изоляции может быть выбрана на основе детерминированных критериев (например, с использованием критерия единичного отказа), дополненных соображениями учета риска.

4.72. Следует анализировать на основе детерминированных критериев, дополненных соображениями учета риска, поведение пассивных элементов (например, обратных клапанов в нагнетательных трубопроводах от накопителей или баков подпитки активной зоны) с целью обеспечения того, чтобы их надежность соответствовала их важности с точки зрения безопасности.

Соображения, касающиеся резервирования

4.73. Систему аварийного охлаждения активной зоны реактора следует проектировать с достаточным резервированием, обеспечивающим достижение целевых показателей надежности, если таковые имеются. С этой целью могут быть приняты во внимание детерминированные соображения, дополненные соображениями учета риска. Если планируется осуществлять техническое обслуживание и ремонт элементов системы аварийного охлаждения активной зоны реактора во время эксплуатации станции, то систему аварийного охлаждения активной зоны реактора следует проектировать таким образом, чтобы никакой единичный отказ, даже во время проведения такого технического обслуживания, не мог предотвратить выполнение предписанных функций безопасности.

Соображения, касающиеся функций безопасности

4.74. Следует предусматривать такую конструкцию, чтобы система аварийного охлаждения активной зоны реактора выполняла предписанные функции безопасности с учетом предположения о единичном отказе при всех условиях проектной аварии.

4.75. Следует обеспечивать, чтобы функциональные возможности системы аварийного охлаждения активной зоны реактора при работе в автономном режиме или в сочетании с другими системами безопасности были такими, чтобы выбросы радиоактивного материала в атмосферу, если они возникают, сохранялись в рамках установленных пределов для аварийных условий.

4.76. Систему аварийного охлаждения активной зоны реактора следует проектировать таким образом, чтобы количество теплоносителя было достаточным для надлежащего долгосрочного охлаждения активной зоны. В

частности, следует подтвердить, что в случае низких уровней в баке-хранилище подпиточной воды:

- запас теплоносителя в прямке защитной оболочки или барботажном бассейне (в реакторах BWR) достаточен и позволяет обеспечить рециркуляцию теплоносителя в активной зоне реактора;
- при выполнении системой функции долгосрочного охлаждения она сопряжена со связанной системой, передающей тепловую энергию конечному поглотителю тепла.

4.77. Следует предусматривать такую компоновку системы, чтобы в случае возникновения разрыва в наиболее неблагоприятном месте могла сохраняться способность обеспечивать надлежащее охлаждение активной зоны.

4.78. Следует обеспечивать физическое разделение комплексов элементов системы аварийного охлаждения активной зоны реактора, включая фильтры грубой очистки. Выполнение предписанных функций безопасности системы аварийного охлаждения активной зоны реактора следует подтверждать посредством экспериментов или анализа, или путем одновременного применения этих двух методов. Следует выполнять анализ с целью проверки того, что система аварийного охлаждения активной зоны реактора спроектирована таким образом, чтобы обеспечивать надлежащую способность охлаждения активной зоны для всего диапазона разрывов в СТР, рассмотренных при проектировании.

4.79. Для реакторов PWR эту систему следует проектировать таким образом, чтобы в случае аварии с потерей теплоносителя предотвращалось осаждение твердого бора в активной зоне.

4.80. Следует обеспечивать предотвращение захвата осколков, которые могли бы блокировать циркуляцию теплоносителя в системе аварийного охлаждения активной зоны реактора.

4.81. Оборудование для аварийного охлаждения активной зоны следует надлежащим образом защищать от последствий внутренних и внешних опасностей, таких, как сейсмические опасности, которые могут поставить под угрозу выполняемые им функции безопасности.

4.82. При проектировании механической конструкции системы аварийного охлаждения активной зоны реактора следует учитывать все возможные

нагрузки, которые могут возникать в течение эксплуатационного ресурса станции. Например:

- тепловые нагрузки в местах сопряжения с СТР;
- гидравлические удары;
- сейсмические нагрузки;
- динамические нагрузки (например, нагрузки, создаваемые биениями трубопроводов).

Следует также уделять внимание тщательному выбору комбинаций нагрузок.

4.83. Проектирование механической конструкции следует анализировать на основе критериев приемлемости, соответствующих режиму работы системы; а именно, с учетом того, что ее главной целью является смягчение последствий аварии с потерей теплоносителя. Все последствия срабатывания системы аварийного охлаждения активной зоны реактора для других систем (например, СТР) следует оценивать при проектировании подсоединенных систем.

4.84. Устройства системы аварийного охлаждения активной зоны реактора следует проектировать таким образом, чтобы были возможны ручное приведение в действие или перезапуск (если требуется) системы из помещения центрального щита управления или с дистанционного пульта останова.

4.85. В надлежащих случаях следует предусматривать автоматический переход систем из инжекционного режима в режим рециркуляции с изменением конфигурации. Ручное управление следует предусматривать только в тех случаях, когда у оператора имеется достаточное время для безопасного выполнения операций по управлению системой. Рекомендации и руководящие материалы относительно надлежащего времени для выполнения действий оператора содержатся в [9].

4.86. Следует предусматривать сохранение функции аварийного охлаждения активной зоны в случае отказа внешнего электроснабжения. Электропитание, необходимое для выполнения функции аварийного охлаждения активной зоны, следует обеспечивать с помощью системы аварийного энергоснабжения (см. [13]). Следует проводить проверку с целью подтверждения того, что время запуска и выхода в режим нагрузки системы аварийного энергоснабжения обеспечивает выполнение функций аварийного охлаждения активной зоны во время аварии.

4.87. Некоторые системы аварийного охлаждения активной зоны могут работать только при низком давлении. Если для приведения в действие системы аварийного охлаждения активной зоны реактора требуется предварительное срабатывание других систем (например, системы сброса давления), то следует подтвердить, что такая система обладает проверенной способностью обеспечивать безопасность и надежность, соответствующую ожидаемой функции и функционированию системы аварийного охлаждения активной зоны реактора.

4.88. При проектировании системы аварийного охлаждения активной зоны реактора следует предусматривать возможность периодического проведения функциональных испытаний активных элементов системы во время нормальной эксплуатации реактора на мощности.

4.89. При проектировании системы аварийного охлаждения активной зоны реактора следует обеспечивать, чтобы выполнение инспекционных задач не ухудшало ее функциональных возможностей.

4.90. Систему аварийного охлаждения активной зоны реактора следует проектировать таким образом, чтобы обеспечивался постоянный мониторинг ее эксплуатационной готовности.

4.91. Следует предусматривать возможность контроля функционирования системы аварийного охлаждения активной зоны реактора в эксплуатационных состояниях и/или после аварии с помощью надлежащих контрольно-измерительных приборов и средств мониторинга (см. [9]).

СИСТЕМА ОТВОДА ОСТАТОЧНОГО ТЕПЛА

4.92. Рекомендации и руководящие материалы для систем, обладающих способностью отвода остаточного тепла и не являющихся частью СТРСС (например, спринклерной системы защитной оболочки, бассейна-барботера в реакторах BWR), содержатся в [3].

Функции

4.93. Функция системы отвода остаточного тепла заключается в обеспечении отвода остаточного тепла от СТР к связанным с ней системам таким образом, чтобы был достигнут режим безопасного останова. Для большинства

конструкций это достигается после того, как было произведено частичное охлаждение.

Сопряжения

4.94. Система отвода остаточного тепла может быть сопряжена со следующими системами:

- СТР;
- промежуточным контуром охлаждения;
- системами электропитания переменного и постоянного тока;
- контрольно-измерительными приборами и системой управления;
- системой сжатого воздуха пневмосистем;
- системами обогрева, вентиляции и кондиционирования воздуха;
- барботажным бассейном (в реакторах BWR и PHWR);
- системой подпиточной воды (в реакторах BWR).

Соображения, касающиеся изоляции

4.95. Следует обеспечивать функциональную изоляцию системы отвода остаточного тепла от СТР во время нормальной эксплуатации.

4.96. В тех случаях, когда система отвода остаточного тепла спроектирована для работы только при низких давлениях, следует принимать соответствующие меры по изоляции, с тем чтобы сохранить ее целостность при работе СТР в условиях повышенного давления.

Соображения, касающиеся функций безопасности

4.97. Для системы отвода остаточного тепла, которая работает при нормальном рабочем давлении СТР, следует задавать такую скорость отвода остаточного тепла, при которой не превышаются проектные пределы для топлива и барьера давления СТР.

4.98. Систему отвода остаточного тепла, работающую при низком давлении, следует проектировать таким образом, чтобы она брала на себя выполнение функции охлаждения станции при останове после снижения температур и давлений в СТР до заранее определенных пределов.

4.99. Для любого ПИС (например, для события с полным отказом подачи питательной воды) следует подтвердить, что будет функционировать по

меньшей мере одна группа связанных систем, обеспечивающая отвод остаточного тепла. Следует предусматривать, чтобы в случае аварии с потерей теплоносителя остаточное тепло полностью или частично отводилось системой аварийного охлаждения активной зоны реактора.

4.100. Следует предусматривать сохранение функции отвода остаточного тепла в случае отказа внешнего электроснабжения и единичного отказа активного элемента. Электропитание, необходимое для выполнения функции отвода остаточного тепла, следует обеспечивать с помощью системы аварийного энергоснабжения (см. [13]).

4.101. Возникновение ошибочного соединения между работающей под высоким давлением СТР и находящейся под более низким давлением частью системы отвода остаточного тепла может привести к аварии, а именно, аварии с потерей теплоносителя в сопряженной системе. В некоторых государствах для оценки вероятности и последствий такого события используются предназначенные для конкретной станции методы анализа с учетом риска. Следует обеспечивать, чтобы находящиеся под низким давлением и сопряженные с СТР части системы отвода остаточного тепла могли выдерживать полные уровни давления и температуры в СТР.

4.102. Следует обеспечивать, чтобы конструкция системы отвода остаточного тепла допускала проведение функциональных испытаний системы в ходе нормальной эксплуатации на мощности.

4.103. Следует предусматривать, чтобы конфигурации трубопроводов предотвращали повреждение насосов вследствие засасывания воздуха.

4.104. Следует предусматривать возможность контроля функционирования системы отвода остаточного тепла с помощью надлежащих контрольно-измерительных приборов и средств контроля. Следует обеспечивать возможность ручного управления системой из дополнительного помещения щита управления.

СИСТЕМА ПАРОПРОВОДОВ И ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

Функции

4.105. Функцией системы паропроводов и питательной воды является передача выделяющейся в активной зоне реактора тепловой энергии к турбине для выработки энергии.

4.106. Следует обеспечивать, чтобы при нормальной эксплуатации система паропроводов и питательной воды допускала стабильную работу реактора на номинальном уровне мощности. Следует обеспечивать сбалансированность производства и рассеяния тепловой энергии при любом уровне мощности.

4.107. В реакторах BWR следует предусматривать возможность контроля уровня воды в корпусе реактора во время пуска и в эксплуатационных состояниях.

4.108. В реакторах PWR следует предусматривать возможность контроля давления в системе и запаса теплоносителя в парогенераторе во время пуска.

Сопряжения

4.109. В качестве обеспечивающих систем для системы паропроводов и питательной воды могут быть предусмотрены следующие системы:

- система подпиточной воды;
- система регулируемого отбора пара;
- система контроля воднохимического режима;
- система очистки;
- система отбора проб;
- система электроснабжения;
- система сжатого воздуха;
- контрольно-измерительные приборы и система управления;
- система сжатого воздуха пневмосистем;
- система обогрева, вентиляции и кондиционирования воздуха;
- система подогрева питательной воды;
- система основного конденсата, включая бак с запасом конденсата (в реакторах BWR).

Соображения, касающиеся изоляции

4.110. При проектировании системы паропроводов и питательной воды в реакторах BWR следует предусматривать возможность надлежащей изоляции системы в случае ее отказа или отказа СТР. Примерами ПИС, которые могут воздействовать на работу системы паропроводов и питательной воды, являются потеря вакуума в конденсаторе, закрытие всех отсечных клапанов паропровода, аварийное отключение турбины с закрытыми перепускными клапанами и нарушение целостности барьера давления системы паропроводов и питательной воды. В реакторах PWR и PHWR следует учитывать способность парогенераторов обеспечивать изоляцию.

4.111. В реакторах прямого цикла (BWR), в которых бассейн-барботер находится внутри защитной оболочки, следует предусматривать надлежащую возможность изоляции паропровода острого пара, сброса пара через предохранительные клапаны в бассейн-барботер и соответствующую систему питательной воды (см. [3]).

Соображения, касающиеся функций безопасности

4.112. Следует предусматривать сохранение в случае потери внешнего электроснабжения функциональных возможностей элементов системы паропроводов и питательной воды, которые являются важными для безопасности (например, изолирующих устройств).

4.113. В эксплуатационных состояниях следует обеспечивать способность системы паропроводов и питательной воды отводить тепло из активной зоны реактора и СТР к конечному поглотителю тепла с такой интенсивностью, чтобы не были превышены проектные пределы для топлива и была сохранена способность охлаждения активной зоны. В частности, давление в СТР и системе главных паропроводов следует поддерживать на уровнях ниже проектных пределов.

4.114. Следует предусматривать контрольно-измерительные приборы и системы управления и мониторинга, с тем чтобы контролировать режимы системы паропроводов и питательной воды во всех эксплуатационных состояниях и во время аварий или после них. Следует предусматривать соответствующие устройства для обнаружения утечек текущих сред.

ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

Функции

4.115. Вспомогательная система питательной воды используется в качестве резервной системы для поддержания функции теплоотвода на станции в случае, когда главная система питательной воды оказывается в состоянии неготовности. Способность вспомогательной системы питательной воды обеспечивать отвод тепла может использоваться в случае необходимости для снижения давления в СТР.

4.116. Вспомогательная система питательной воды используется для поддержания станции в горячем стояночном режиме в течение длительного периода времени. Может также потребоваться ее использование для перевода станции в состояние холодного останова. Следует обеспечивать достаточную производительность вспомогательной системы питательной воды, позволяющую эффективно выполнять эти функции. В некоторых конструкциях может быть предусмотрена отдельная аварийная система питательной воды, позволяющая независимо выполнять функции безопасности, в то время как вспомогательная система питательной воды зарезервирована для функций режима нормальной эксплуатации. В этом случае для обеих систем следует определять четкие и ясные цели функционирования и безопасности.

4.117. В реакторах непрямого цикла (PWR), если отсутствует отдельная аварийная система питательной воды, то вспомогательная система питательной воды используется в качестве системы безопасности (аварийной системы питательной воды) для отвода из СТР остаточного тепла. Передача тепловой энергии к конечному поглотителю тепла может осуществляться через устройства для сброса давления парогенератора или через конденсатор.

4.118. В реакторах BWR вспомогательную систему питательной воды обычно называют системой аварийной конденсации. Эта система используется для поддержания уровня воды в корпусе ядерного реактора в случае потери питательной воды в режимах горячего останова (в таком случае остаточное тепло отводится из активной зоны реактора посредством сброса пара через предохранительные клапаны в бассейн-барботер). Еще одной функцией этой системы является поддержание необходимого запаса теплоносителя реактора в случае небольшой потери теплоносителя при нормальной эксплуатации.

4.119. В реакторах BWR следует предусматривать систему аварийной конденсации в качестве резервного источника охлаждающей воды, с тем чтобы

обеспечить возможность подачи питательной воды в тех случаях, когда главная система питательной воды изолирована от корпуса реактора. К нештатным ситуациям, которые могут приводить к такой изоляции, относятся случайная изоляция паропроводов острого пара, потеря вакуума в конденсаторе, отказ регулятора давления, потеря питательной воды и отказ внешнего электроснабжения.

Систему аварийной конденсации следует проектировать таким образом, чтобы она:

- выдерживала полное давление в СТР;
- в сочетании с системой аварийной подпитки высокого давления (или спринклерной системой охлаждения активной зоны высокого давления), предохранительными и/или разгрузочными клапанами и бассейном-барботером обеспечивала возможность отвода тепла радиоактивного распада.

Сопряжения

4.120. В качестве обеспечивающих систем могут быть предусмотрены следующие системы:

- система регулируемого отбора пара;
- система контроля воднохимического режима;
- система очистки;
- система отбора проб;
- система электроснабжения;
- система сжатого воздуха;
- система обогрева, вентиляции и кондиционирования воздуха;
- контрольно-измерительные приборы и система управления;
- система подогрева питательной воды.

4.121. Кроме того, в случае использования насосов с паровым приводом может потребоваться подача пара под давлением.

Соображения, касающиеся изоляции

4.122. В реакторах BWR, в которых бассейн-барботер находится внутри защитной оболочки, следует предусматривать надлежащую возможность изоляции паропровода острого пара, сброса пара через предохранительные клапаны в бассейн-барботер и соответствующую систему питательной воды.

Соображения, касающиеся функций безопасности

4.123. Во вспомогательной(ых) системе(ах) питательной воды может быть предусмотрено резервирование и/или неодинаковость с целью надлежащего выполнения ее(их) функции(й) безопасности. Оценка адекватности мер по обеспечению резервирования и/или неодинаковости может быть сделана на основе детерминированных критериев, дополненных соображениями учета риска.

4.124. Для того, чтобы система выполняла предписанную ей функцию, следует предусматривать достаточный объем емкости для хранения воды.

4.125. Следует предусматривать такую минимальную номинальную охлаждающую способность системы, чтобы не превышались проектные пределы для топлива и барьера давления теплоносителя реактора.

4.126. Так как разрывы трубопроводов второго контура в реакторах PWR могут приводить к событиям переохлаждения, следует предусматривать такую максимальную производительность системы, чтобы не происходило возвращения к критичности и не возникало неприемлемого термического удара для корпуса реактора.

4.127. Следует обеспечивать стабилизацию химических свойств системы питательной воды, с тем чтобы свести к минимуму вредные последствия (например, межкристаллитное коррозионное растрескивание под напряжением и коррозию в результате воздействия потока) для внутренних конструкций и элементов, включая трубы, парогенераторов.

4.128. Следует предусматривать контрольно-измерительные приборы и системы управления и мониторинга, с тем чтобы контролировать состояние вспомогательной системы питательной воды в эксплуатационных состояниях и во время аварий или после них.

ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ КОНТУРЫ ОХЛАЖДЕНИЯ

Функции

4.129. Функции промежуточных контуров охлаждения заключаются в следующем:

- передача тепловой энергии от СТРСС или других источников тепла к конечному поглотителю тепла;
- выполнение роли барьера, препятствующего распространению радиоактивного материала в окружающую среду или проникновению в СТРСС неприемлемых химических веществ.

Сопряжения

4.130. Могут предусматриваться следующие обеспечивающие системы:

- система контроля воднохимического режима;
- система отбора проб;
- система электроснабжения;
- система обогрева, вентиляции и кондиционирования воздуха;
- система сжатого воздуха;
- контрольно-измерительные приборы и система управления.

Соображения, касающиеся изоляции

4.131. Если с системой промежуточного контура охлаждения соединена система или единица оборудования, не важная для безопасности, то следует принимать надлежащие меры с целью обеспечения того, чтобы выполнение необходимых функций безопасности не ставилось под угрозу. Может оказаться необходимым предусматривать автоматическую изоляцию части систем, которые являются важными для безопасности, от остальных систем.

Соображения, касающиеся функций безопасности

4.132. Если система промежуточного контура охлаждения необходима для охлаждения реактора после его останова, то в дополнение к резервированию, необходимому для выполнения критерия единичного отказа, может быть рассмотрена возможность применения мер по обеспечению неодинаковости конечных поглотителей тепла. Если необходимо обеспечить неодинаковость конечных поглотителей тепла (например, в случае использования реки или атмосферы), то может потребоваться рассмотрение особых соображений при проектировании промежуточных контуров охлаждения (например, необходимости использования разных теплообменников или насосов).

4.133. Следует обеспечивать, чтобы теплопередающая способность системы промежуточных контуров охлаждения соответствовала мощности обслуживаемых этими контурами источников тепла, причем следует учитывать

наиболее неблагоприятное с точки зрения проектирования сочетание перепада температур и других экологических параметров, которое может возникнуть в течение срока службы станции. Следует задавать соответствующую интенсивность теплопередачи к конечному поглотителю тепла и учитывать необходимую интенсивность отвода тепла из СТРСС.

4.134. Функциональные параметры системы промежуточного контура охлаждения при воздействии на нее неблагоприятных экологических явлений, характерных для данной площадки и типа конечного поглотителя тепла (замораживание, торнадо, летящие предметы, ураганы, наводнения, землетрясения, блокировка потока воды, экстремально высокие температуры, низкое качество воды), следует поддерживать в установленных пределах.

4.135. При задании технических требований для элементов и оборудования системы промежуточного контура охлаждения, которые сопряжены с другими расположенными выше и ниже по потоку системами, особое внимание следует уделять обеспечению герметичности. Системы промежуточного контура охлаждения следует проектировать таким образом, чтобы они выдерживали нагрузки гидравлического удара, сохраняли работоспособность в случае наводнения и обладали коррозионной стойкостью.

4.136. Следует предусматривать контрольно-измерительные приборы для управления системой промежуточного контура охлаждения и ее контроля во всех эксплуатационных состояниях и в условиях проектной аварии. Могут быть предусмотрены соответствующие устройства для обнаружения утечек.

4.137. Следует предусматривать надлежащие возможности изоляции, с тем чтобы предотвратить неприемлемое затопление помещений и последующий отказ систем безопасности.

КОНЕЧНЫЙ ПОГЛОТИТЕЛЬ ТЕПЛА И СВЯЗАННЫЕ С НИМ СИСТЕМЫ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ

Условия на площадке и окружающие условия

4.138. При выборе типа конечного поглотителя тепла и непосредственно связанных с ним систем теплопередачи для станции следует учитывать специфические условия площадки, в которых будет эксплуатироваться станция, и их воздействие на окружающую среду.

4.139. При определении требуемой производительности конечного поглотителя тепла и непосредственно связанных с ним систем теплопередачи следует задавать проектные экологические параметры. В число этих параметров входят температура воды конечного поглотителя тепла в случае прямоточных систем водяного охлаждения и измеренная термометром с сухим шариком температура воздуха в случае сухих градирен. Для обычных градирен, бассейнов для охлаждения или брызгальных бассейнов и для других систем теплопередачи, использующих охлаждение испарением, необходимы значения температуры воздуха, измеренные термометром как с сухим, так и с увлажненным шариком. При необходимости следует включать и другие параметры, такие, как качество воды (содержание шлама и химические примеси), скорость ветра и коэффициенты изоляции.

4.140. Следует обеспечивать, чтобы экологические параметры, учитываемые при проектировании конечного поглотителя тепла и непосредственно связанных с ним систем теплопередачи, соответствовали характерным для конкретной площадки условиям и конкретным системам. Рекомендации и руководящие материалы по рассмотрению внешних событий при проектировании конечного поглотителя тепла содержатся в [5].

Тепловые нагрузки

4.141. Следует обеспечивать, чтобы конечный поглотитель тепла был в состоянии поглощать выделяющуюся тепловую энергию при любых условиях на станции.

4.142. Способность конечного поглотителя тепла к длительной работе достигается посредством конструкций, обеспечивающих прямой доступ к неистощимым естественным водоемам или к атмосфере. Для площадок без такого доступа следует подтверждать, что существует достаточная способность выдерживать тепловую нагрузку в период до пополнения теплоотвода¹¹. При таком подтверждении следует учитывать факторы, которые могут задержать процесс пополнения. К таким факторам относятся испарение, события, вызываемые деятельностью человека, аварийные условия на станции, наличие соединений и сложность процедур пополнения. Места нахождения и размеры

¹¹ В некоторых государствах приемлемая минимальная емкость непосредственно доступных источников воды, включая воду, хранящуюся на площадке в баках или резервуарах, позволяет покрывать все тепловые нагрузки, возникающие в течение 30 дней, если в результате проведения консервативного анализа не может быть обоснован более короткий интервал времени.

подводящих и отводящих конструкций следует тщательно оценивать с учетом годовых колебаний температуры и зафиксированных моделей ее изменения и воздействия биологического загрязнения и накопления песка и ила на эффективность и функционирование предлагаемого проекта. В зависимости от характеристик площадки, следует тщательно оценивать необходимость использования резервного конечного поглотителя тепла.

4.143. При задании максимальной интенсивности теплоотвода следует определять наиболее неблагоприятное сочетание отдельных тепловых нагрузок для всех ПИС, при которых от системы требуется выполнение нормальной эксплуатационной функции или функции безопасности.

4.144. При определении требуемых функциональных возможностей конечного поглотителя тепла и непосредственно связанных с ним систем теплопередачи следует точно идентифицировать различные источники тепла и их поведение во времени с целью обеспечить поддержание температуры теплоносителя в установленных пределах. К тепловым нагрузкам, которые следует принимать во внимание, относятся:

- остаточное тепловыделение реактора;
- тепло радиоактивного распада отработавшего топлива при максимальной нагрузке системы его хранения;
- тепло, отводимое от насосов и других элементов;
- тепловая энергия других вызывающих аварии источников (например, химических реакций).

4.145. При определении нагрузок, связанных с остаточным тепловыделением реактора (в том числе тепла радиоактивного распада, тепла, связанного с ядерным делением при останове, и запасенной энергии), следует принимать допущения, что топливо обрабатывает на мощности в течение промежутка времени, достаточного для достижения максимальной нагрузки, создаваемой теплом радиоактивного распада, и это тепло радиоактивного распада следует оценивать в соответствии с применимыми нормами.

4.146. Суммарную тепловую нагрузку и интенсивность отвода тепла от отработавшего топлива следует оценивать, исходя из максимального числа отработавших топливных элементов, которые могут храниться на площадке в любой момент времени. Следует использовать кривые тепловыделения при радиоактивном распаде для конкретного топлива, применяя для различных тепловыделяющих элементов либо соответствующие индивидуальные значения

времени, прошедшего после останова, либо единую для всех тепловыделяющих элементов консервативную усредненную оценку этого времени.

4.147. При выборе конечного поглотителя тепла для всех эксплуатационных состояний и условий проектной аварии следует учитывать тепловые нагрузки, создаваемые активными элементами, такими, как насосы, двигатели и другие тепловыделяющие устройства, необходимые для эксплуатации вспомогательных систем, обслуживающих конечный поглотитель тепла и зависящих от него.

4.148. Следует сопоставлять поведение во времени индивидуальных тепловых нагрузок, с тем чтобы определить пиковую интенсивность теплоотвода, на основе которой задаются мощностные параметры систем теплопередачи. При проведении этих расчетов можно учитывать временное накопление тепловой энергии в теплоотводах на станции, таких, как конструкции в пределах активной зоны, системы первого и второго контуров, конструкции защитной оболочки, бассейны-барботеры, бассейны для хранения отработавшего топлива и носители систем теплопередачи.

4.149. В аварийных условиях могут возникать дополнительные источники тепла, такие, как экзотермические реакции воды с металлом оболочки твэлов или другие химические реакции в пределах защитной оболочки, приводящие к выделению тепла. Если установлено, что потенциальные реакции металла с водой играют значительную роль как дополнительный источник тепла, то следует количественно определить их зависимость от времени и включить эти данные в критерии задания мощностных параметров.

Системы теплопередачи

4.150. В том, что касается соображений безопасности, мощностные параметры систем теплопередачи, непосредственно связанных с конечным поглотителем тепла, определяются следующими факторами:

- максимальной интенсивностью тепловыделения;
- проектными экологическими параметрами (температурой воды или воздуха, относительной влажностью воздуха);
- запасами теплоносителя.

4.151. В случае, когда предусматривается конечный поглотитель тепла с ограниченной способностью поглощения, выбор непосредственно связанной с ним системы теплопередачи может диктоваться необходимостью сохранения

запаса поглотителя тепла в конечном поглотителе тепла; это приведет к увеличению времени, требующегося для поступления подпиточной воды. Если требуемое время для восстановления подачи подпиточной воды невелико, то следует в обязательном порядке проводить более строгое обоснование применяемых процедур.

4.152. Пиковая интенсивность требуемого теплоотвода может быть уменьшена для систем теплопередачи, непосредственно связанных с конечным поглотителем тепла, путем сохранения тепловой энергии и отсрочки момента времени, когда потребуются использование конечного поглотителя тепла.

Площадки многоблочных станций

4.153. В случаях, когда признается допустимым совместное использование конечного поглотителя тепла несколькими реакторами на площадке многоблочной станции, следует предусматривать, чтобы конечный поглотитель тепла и непосредственно связанные с ним системы теплопередачи были способны выполнять проектные задачи в отношении:

- одновременного безопасного останова и охлаждения всех обслуживаемых реакторов и поддержания их в состоянии безопасного останова;
- отвода тепла после аварии на одном реакторе, плюс одновременного безопасного останова и охлаждения всех остальных энергоблоков и поддержания их в состоянии безопасного останова.

4.154. Следует обеспечивать, чтобы совместное использование конечного поглотителя тепла несколькими реакторами на площадке многоблочной станции не приводило к снижению его общей надежности. В этой связи следует избегать неоправданно сложных проектных решений, таких, как многоступенчатые блокировки и автоматическое переключение оборудования между несколькими реакторами. Кроме того, в тех случаях, когда общими являются системы теплопередачи, непосредственно связанные с конечным поглотителем тепла, следует учитывать более серьезные потенциальные последствия отказа системы.

Дополнение

СТР И СВЯЗАННЫЕ С НЕЙ СИСТЕМЫ В ТЯЖЕЛОВОДНЫХ РЕАКТОРАХ КАНАЛЬНОГО ТИПА

А.1. В настоящем Дополнении содержатся дополнительные рекомендации и руководящие материалы, предназначенные конкретно для реакторов PHWR (реакторов с тяжеловодным теплоносителем и замедлителем под давлением). Дополнение и основной текст настоящего Руководства по безопасности не вступают в противоречие друг с другом и не являются взаимоисключающими. Однако в некоторых случаях приведенная в Дополнении информация может заменять или дополнять рекомендации и руководящие материалы, содержащиеся в основном тексте.

СИСТЕМА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ РЕАКТОРА

А.2. СТР состоит из удерживающих давление элементов системы теплопередачи первого контура, включая отсечные клапаны, циркуляционные насосы первого контура, первый контур парогенераторов, входные и выходные коллекторы реактора и трубопроводы до изолирующих устройств включительно. Рекомендации в отношении СТР реакторов PHWR эквивалентны рекомендациям для реакторов PWR, если должным образом учтены различия в компоновке, числе и типах элементов и в их значимости для безопасности. Конфигурация СТРСС показана на рис. II-4 в Приложении II и описывается ниже.

ПОДСОЕДИНЕННЫЕ СИСТЕМЫ

А.3. Системы, подсоединенные к СТР, следует рассматривать в качестве систем, выполняющих функцию безопасности, непосредственно обеспечивая целостность СТР. В их число могут входить, наряду с прочими:

- узлы технологических каналов, включая тепловыделяющие сборки;
- две системы останова реактора;
- перегрузочные машины;
- системы контроля давления и количества теплоносителя;
- система охлаждения уплотнителей насосов;
- система аварийного охлаждения активной зоны реактора;

- система охлаждения при останове;
- система сбора тяжелой воды (D_2O).

СВЯЗАННЫЕ СИСТЕМЫ

А.4. Так же, как и в реакторах PWR, связанные системы – это системы, существенно важные для безопасного функционирования СТРС. Связанными системами в реакторе канального типа являются:

- замедлитель и система его охлаждения;
- система охлаждения защитного экрана;
- жидкостная инжекционная система останова;
- система паропроводов и питательной воды;
- вспомогательная система питательной воды.

ОСОБЫЕ СООБРАЖЕНИЯ, КАСАЮЩИЕСЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

А.5. Ниже приведены общие и детальные соображения, касающиеся проектирования, которые дополняют сведения, изложенные в основном тексте, и касаются конкретно реакторов канального типа.

Узлы технологических каналов

А.6. В реакторах CANDU (канадский тяжеловодный урановый ядерный реактор), относящихся к реакторам типа PHWR, технологические каналы представляют собой систему, подсоединенную к СТР. Их следует проектировать таким образом, чтобы обеспечивался удерживающий давление контур (барьер давления) с низким поглощением нейтронов, а также опора и фиксация положения тепловыделяющих сборок, и следует предусматривать, чтобы они допускали контролируемый поток находящегося под давлением теплоносителя вокруг тепловыделяющихборок и через них.

Жидкостные инжекционные системы останова

А.7. Следует предусматривать две неодинаковых и отдельных системы останова. Как правило, это – системы для останова посредством ввода стержней и инъекции жидкости. Следует обеспечивать, чтобы каждая система останова была в состоянии независимо останавливать реактор во всех эксплуатационных состояниях и в условиях проектной аварии.

А.8. Функция системы останова посредством ввода стержней аналогична функции соответствующей системы в реакторах PWR. Следует обеспечивать, чтобы жидкостная инъекционная система останова позволяла инжектировать поглощающий нейтроны раствор непосредственно в тяжеловодный замедлитель в каландре, что приводит к останову реактора. Следует предусматривать, чтобы эта система обладала возможностями останова, сопоставимыми с соответствующими возможностями системы, использующей стержни, но чтобы уставки системы аварийной защиты были заданы таким образом, чтобы первой срабатывала система ввода стержней.

А.9. Следует обеспечивать, чтобы каждая система останова была в состоянии независимо останавливать реактор во всех контролируемых условиях и в условиях проектной аварии.

Перегрузочные машины

А.10. Перегрузочные машины, когда они стыкуются с перегружаемыми технологическими каналами активной зоны, следует рассматривать в качестве составной части удерживающего давление контура (барьера давления) СТР и соответствующим образом проектировать. Поэтому проектирование удерживающего давление контура перегрузочной машины следует выполнять в соответствии с рекомендациями по безопасностям, которые применяются в случае СТР.

Система контроля давления и количества теплоносителя

А.11. Если компенсатор давления, в тех случаях, когда он предусмотрен, может быть изолирован от СТР в некоторых условиях эксплуатации (т.е. во время прогрева или расхолаживания), то следует обеспечивать, чтобы система контроля давления и количества теплоносителя включала альтернативные средства контроля давления и количества теплоносителя в СТР, такие, как систему автоматически регулируемых питательных и выпускных клапанов. В этом случае в компенсаторе давления следует предусматривать независимое предохранительное и/или разгрузочное устройство.

А.12. Конденсатор сбрасываемого пара, который представляет собой емкость, связанную с компенсатором давления и находящуюся при нормальной эксплуатации под более низким давлением, следует оснащать пассивными устройствами разгрузки (например, разрывными мембранами, разгрузочными или предохранительными клапанами, срабатывающими от управляющих клапанов) способными пропускать пар, жидкости и вскипающие жидкости,

поскольку конденсатор может подвергнуться затоплению в случае массивных сбросов текучей среды из СТР или компенсатора давления. При проектировании конденсатора сбрасываемого пара следует учитывать диапазон давлений и температур в СТР.

А.13. В состав системы контроля давления и количества теплоносителя следует включать систему удаления примесей, предназначенную для поддержания химических характеристик и активности теплоносителя в установленных пределах посредством удаления растворенных химических примесей, радиоактивных веществ, включая продукты деления, и взвешенных твердых частиц.

Система аварийного охлаждения активной зоны реактора

А.14. Система аварийного охлаждения активной зоны реактора обеспечивает подачу охлаждающей воды (легкой воды) в СТР после аварии с потерей теплоносителя, в ходе которой произошла потеря тяжелой воды. Ее следует проектировать таким образом, чтобы она обеспечивала отвод остаточного тепла из реактора.

А.15. Систему аварийного охлаждения активной зоны реакторов PHWR с коллекторами реактора следует проектировать таким образом, чтобы она обеспечивала надлежащее охлаждение активной зоны реактора в случае двухстороннего гильотинного разрыва коллектора.

Аварийные или резервные системы водопитания

А.16. Аварийную или резервную систему водопитания или эквивалентную систему следует проектировать таким образом, чтобы в тех случаях, когда исчерпаны все источники тяжелой воды на станции, обеспечивалась аварийная подача подпиточной воды (легкой воды) к СТР и другим системам, таким, как замедлитель.

А.17. Следует предусматривать, чтобы в случае необходимости резервная система водопитания или эквивалентная система обеспечивала подачу подпиточной воды во второй контур парогенераторов для смягчения последствий последовательности событий, приводящих к полному прекращению подачи питательной воды.

Система охлаждения при останове

А.18. В случае необходимости следует проектировать также систему охлаждения при останове, обеспечивающую отвод тепла радиоактивного распада при останове реактора после аварии и выполняющую функции альтернативного теплоотвода для парогенераторов.

А.19. Следует предусматривать, чтобы система обеспечивала снижение, повышение и регулирование уровня теплоносителя в СТР, позволяя проводить техническое обслуживание насосов системы теплопередачи и парогенераторов.

Связанные системы

А.20. Различия с реакторами типа PWR незначительны. Связанные с безопасностью и инженерно-технические рекомендации, такие как рекомендации, касающиеся группирования, разделения, резервирования, изоляции, и методы анализа, такие, как анализ с учетом риска и вероятностная оценка безопасности, аналогичны рекомендациям и методам, предназначенным для других типов водоохлаждаемых реакторов, и все являются применимыми. Здесь внимание обращается только на конкретные различия в функциональных возможностях и терминологии.

Система замедлителя

А.21. Тяжеловодный замедлитель, который позволяет использовать в качестве топлива природный или слабо обогащенный уран, может также служить в качестве средства для рассеивания являющихся замедлителями химических веществ с целью остановки реактора в случае аварийной ситуации и для регулирования реактивности активной зоны реактора. (В качестве средства остановки реактора можно также использовать удаление или аварийный слив замедлителя.)

А.22. В системе замедлителя следует предусматривать собственную систему охлаждения для отвода тепла, поступающего от конструкций реактора, и выделяющегося в системе замедлителя тепла радиоактивного распада.

А.23. Следует предусматривать, чтобы система замедлителя и окружающий ее резервуар охлаждающей воды защитного экрана обладали внутренне присущей способностью поддерживать целостность технологических каналов в случае повреждения всех других средств охлаждения в нормальных и аварийных

условиях. Они могут использоваться в качестве резервных конечных поглотителей тепла для смягчения последствий запроектных аварий.

Система охлаждения защитного экрана

А.24. Цилиндрическая оболочка каландра снабжена торцевыми защитными экранами и находится внутри охлаждающего бака защитного экрана. Торцевые защитные экраны следует проектировать с учетом необходимости обеспечения доступа к зоне перегрузочной машины и к передней стороне реактора и выполнения любой конструкционной и вспомогательной функции, которую они могут иметь. Пространство между оболочкой каландра и оболочкой охлаждающего бака защитного экрана заполнено легкой водой, которая служит в качестве тепловой и биологической защиты. При его проектировании следует учитывать необходимость обеспечения доступа персонала к внутренней камере-хранилищу реактора для проведения инспекций и технического обслуживания во время останова реактора.

А.25. Следует обеспечивать циркуляцию и охлаждение легкой воды в баке защитного экрана и торцевых полостях защитного экрана. Торцевой защитный экран и системы охлаждения защитного экрана следует проектировать таким образом, чтобы обеспечивался отвод тепла, выделяющегося в экранирующем материале, а также тепла, поступающего из СТР в торцевые защитные экраны и бак защитного экрана.

А.26. Следует обеспечивать способность торцевого защитного экрана и системы охлаждения защитного экрана поддерживать приемлемые температуры конструкционных элементов реактора с целью предотвращения недопустимых деформаций во всех условиях проектной аварии.

Система сбора тяжелой воды (D_2O)

А.27. Систему сбора тяжелой воды следует проектировать таким образом, чтобы обеспечивался сбор утечек из любого ожидаемого источника утечек в СТР, например, по штокам клапанов с двойным уплотнением, из уплотнений насосов и полостей между прокладками. Систему следует также использовать для сбора жидкостей, отводимых и дренируемых из СТРСС и из оборудования других систем.

А.28. Систему сбора тяжелой воды следует также проектировать таким образом, чтобы обеспечивалось охлаждение паров, если таковые образуются, и следует предусматривать в ней возможность удаления жидкостей и газов.

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- [1] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Безопасность атомных электростанций: проектирование, Серия норм безопасности № NS-R-1, МАГАТЭ, Вена (2003).
- [2] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Проектирование активных зон атомных электростанций, Серия норм безопасности № NS-G-1.12, МАГАТЭ, Вена (2006).
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Design of Reactor Containment Systems for Nuclear Power Plants, Safety Standards Series No. NS-G-1.10, IAEA, Vienna (2004).
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Seismic Design and Qualification for Nuclear Power Plants, Safety Standards Series No. NS-G-1.6, IAEA, Vienna (2003).
- [5] 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).
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Protection against Internal Fires and Explosions in the Design of Nuclear Power Plants, Safety Standards Series No. NS-G-1.7, IAEA, Vienna (2004).
- [7] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Оценка безопасности и независимая проверка для атомных электростанций, Серия норм МАГАТЭ по безопасности № NS-G-1.2, МАГАТЭ, Вена (2004).
- [8] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Evaluation of Seismic Hazards for Nuclear Power Plants, Safety Standards Series No. NS-G-3.3, IAEA, Vienna (2002).
- [9] 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).
- [10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Protection Aspects of Design for Nuclear Power Plants, Safety Standards Series No. NS-G1.13, IAEA, Vienna (in preparation).
- [11] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Пределы и условия для эксплуатации и эксплуатационные процедуры для атомных электростанций, Серия норм безопасности № NS-G-2.2, МАГАТЭ, Вена (2004).
- [12] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Техническое обслуживание, надзор и инспекции при эксплуатации на атомных электростанциях, Серия норм безопасности № NS-G-2.6, МАГАТЭ, Вена (2005).
- [13] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Design of Emergency Power Systems for Nuclear Power Plants, Safety Standards Series No. NS-G-1.8, IAEA, Vienna (2004).

Приложение I

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СТР

I-1. Ниже представлены перечни типичных основных элементов и оборудования СТР для реакторов различных типов.

РЕАКТОРЫ, ОХЛАЖДАЕМЫЕ ВОДОЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

- (a) Корпус ядерного реактора с узлом крышки корпуса реактора
- (b) Внутрикорпусные устройства реактора (помимо топливных сборок и опорных конструкций активной зоны), необходимые для обеспечения надлежащего потока теплоносителя первого контура, такие, как бак активной зоны
- (c) Парогенераторы
- (d) Главные циркуляционные насосы
- (e) Трубопроводы, которые вместе с парогенераторами и главными циркуляционными насосами составляют контуры охлаждения:
 - горячая ветвь между корпусом ядерного реактора и парогенератором каждой петли;
 - ресиверная(ые) нитка(и) между парогенератором и насосом(ами) каждой петли;
 - холодная(ые) ветвь(и) между насосом(ами) каждой петли и корпусом реактора
- (f) Компенсатор давления с разгрузочными и предохранительными клапанами и трубопроводами, соединяющим его с трубопроводами контура теплоносителя (например, продувочным трубопроводом)
- (g) Обводные трубы парогенераторов и главных циркуляционных насосов, используемые для измерения температуры каждого контура
- (h) Дополнительные устройства корпуса ядерного реактора, такие, как находящийся под давлением кожух механизма привода управляющих стержней или системы дренажа крышки корпуса реактора
- (i) Вспомогательные системы, подсоединенные к контуру, включительно до первых изолирующих устройств
- (j) Элементы, такие, как приводные механизмы клапанов и управляющие приводы насосов, связанные с d) – i)

РЕАКТОРЫ, ОХЛАЖДАЕМЫЕ КИПАЮЩЕЙ ВОДОЙ

- (a) Корпус ядерного реактора с узлом крышки корпуса реактора и опорной юбкой
- (b) Внутрикорпусные устройства реактора (помимо топливных сборок и опорной конструкции активной зоны), необходимые для обеспечения надлежащего потока теплоносителя первого контура, такие, как кожух активной зоны, водоструйные насосы, внутренние циркулярные насосы или сепараторы
- (c) Дополнительные устройства корпуса ядерного реактора, такие, как расходомеры Вентури, дросселирующие диафрагмы и кожухи привода управляющих стержней
- (d) Паропроводы и трубопроводы питательной воды включительно до наиболее удаленного отсечного клапана
- (e) Элементы системы рециркуляции теплоносителя реактора, такие, как насосы, трубы и клапаны
- (f) Разгрузочные и предохранительные клапаны и клапаны сброса давления
- (g) Элементы, такие, как дроссели паропровода острого пара, оборудование сброса давления, приводные механизмы клапанов и управляющие приводы насосов, связанные с a) – f)

РЕАКТОРЫ С ТЯЖЕЛОВОДНЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ И ЗАМЕДЛИТЕЛЕМ ПОД ДАВЛЕНИЕМ (РЕАКТОРЫ КАНАЛЬНОГО ТИПА)

- (a) Каналы теплоносителя, включая концевики, заглушки и перегрузочные машины, когда они состыкованы с каналом
- (b) Контур парогенератора, соединенный с контуром теплоносителя реактора
- (c) Главный циркуляционный насос, в том числе нагнетательная система для уплотнителей включительно до первых изолирующих устройств
- (d) Трубопроводы, которые вместе с парогенераторами и главными циркуляционными насосами составляют контуры охлаждения:
 - входные и выходные трубы дозатора;
 - входные и выходные коллекторы реактора;
 - коллекторы на всасывающей стороне насосов (если таковые имеются)
- (e) Компенсатор давления (если таковой имеется) с его разгрузочными клапанами и трубопроводами, соединяющими его с трубопроводами контура охлаждения

- (f) Линии защиты от превышения давления включительно до разгрузочных клапанов
- (g) Системы, подсоединенные к контуру теплоносителя включительно до первых изолирующих устройств
- (h) Система замедлителя
- (i) Элементы, такие, как приводные механизмы клапанов и управляющие приводы насосов, связанные с c) – h)

РЕАКТОРЫ С ТЯЖЕЛОВОДНЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ И ЗАМЕДЛИТЕЛЕМ ПОД ДАВЛЕНИЕМ (КОРПУСНОГО ТИПА)

- (a) Корпус реактора с крышкой корпуса, заглушка охлаждающего канала и перегрузочная машина, когда она состыкована с каналом
- (b) Внутрикорпусные устройства реактора (помимо топливных сборок)
- (c) Контур парогенераторов, соединенные с контуром теплоносителя реактора
- (d) Главные циркуляционные насосы, в том числе уплотнители первой ступени и самоуплотняющаяся инжекционная система включительно до первых изолирующих устройств
- (e) Трубопроводы, которые вместе с парогенераторами и главными циркуляционными насосами составляют контуры охлаждения:
 - горячая ветвь между корпусом ядерного реактора и каждым парогенератором;
 - ресиверная нитка между каждым парогенератором и его соответствующим главным насосом;
 - холодная ветвь между каждым главным насосом и корпусом реактора
- (f) Компенсатор давления с разгрузочными и предохранительными клапанами, трубопроводами и продувочной линией
- (g) Дополнительные устройства корпуса ядерного реактора, такие, как находящийся под давлением кожух механизма привода управляющих стержней
- (h) Заполняемый замедлителем контур холодильника замедлителя
- (i) Насосы замедлителя
- (j) Трубопроводы, которые вместе с холодильниками и насосами замедлителя составляют контуры замедлителя
- (k) Системы, подсоединенные к трубопроводам контура теплоносителя и замедлителя, включительно до изолирующих устройств

- (1) Элементы, такие, как приводные механизмы клапанов, дросселирующие устройства и управляющие приводы насосов, связанные с а) - к).






















Приложение II

СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ СТР И СВЯЗАННЫХ С НЕЙ СИСТЕМ

II-1. На приведенных ниже структурных схемах СТРСС представлены в упрощенной форме важнейшие элементы и основные функциональные особенности нескольких типов реакторов.

II-2. Показаны не все резервные элементы и конфигурации трубопроводов. Кроме того, эти структурные схемы типичны только для реакторных систем определенных размеров (и мощности), и они могут отличаться для других реакторных систем. Например, показан только один из нескольких контуров СТР.

II-3. Названия систем различаются от одной конструкции к другой и иногда специфичны для определенного поставщика. Предполагается, что они не требуют дополнительных разъяснений и могут не всегда соответствовать названиям систем или функций, использованным в настоящем Руководстве по безопасности.

	Бак продувочной воды		Трубопровод
	Обратный клапан		Соединение с другими системами (не рассматриваемыми в настоящем Руководстве по безопасности)
	Конденсатор		Насос
	Охладитель (окружающая среда)		Регенеративный теплообменник
	Фильтр		Распылительная головка
	Генератор		Парогенератор
	Подогреватель		Бак-хранилище
	Теплообменник		Резервуар приямка
	Нагруженный предохранительный клапан		Бак
	Электродвигатель		Турбина
			Клапан

ГЕ	Гидроемкость	ПКО	Промежуточный контур охлаждения
АССД	Автоматическая система сброса давления	ИННД	Инжекционный насос низкого давления
СКВРКТ	Система контроля воднохимического режима и количества теплоносителя	ББКО	Барботажный бак компенсатора давления
ПЗО	Приямок защитной оболочки	КД	Компенсатор давления
БХК	Бак для хранения конденсата	ОИАЗ	Охлаждение изоляции активной зоны реактора
АОР	Аварийное охлаждение активной зоны реактора	СТР	Система теплоносителя реактора
САОР	Система аварийного охлаждения активной зоны реактора	СООТ	Система отвода остаточного тепла
АСПВ (ВСПВ)	Аварийная (вспомогательная) система питательной воды	КР	Корпус реактора
СПВ	Система питательной воды	СР	Система рециркуляции
ИНВД	Инжекционный насос высокого давления	СОВПТ	Система очистки воды для перегрузки топлива
		ПГ	Парогенератор
		ББ	Бассейн-барботер
		КПТ	Конечный поглотитель тепла

РИС. II-1. Условные обозначения и сокращения, использованные на рис. II-2 – II-4.

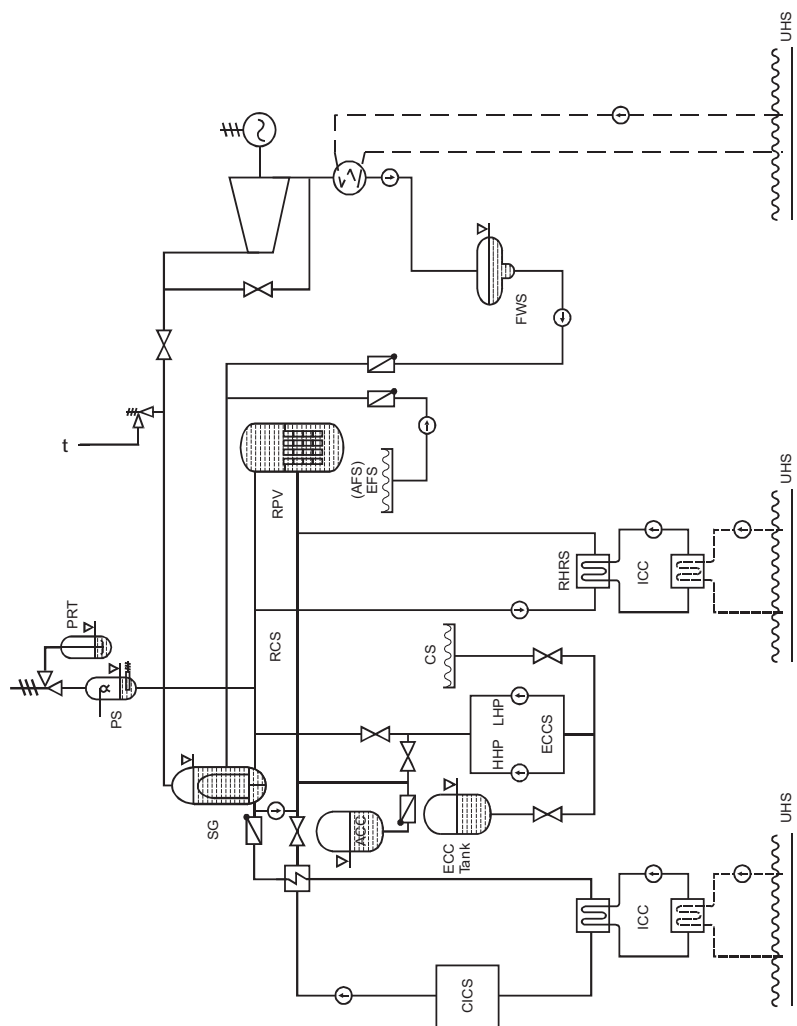
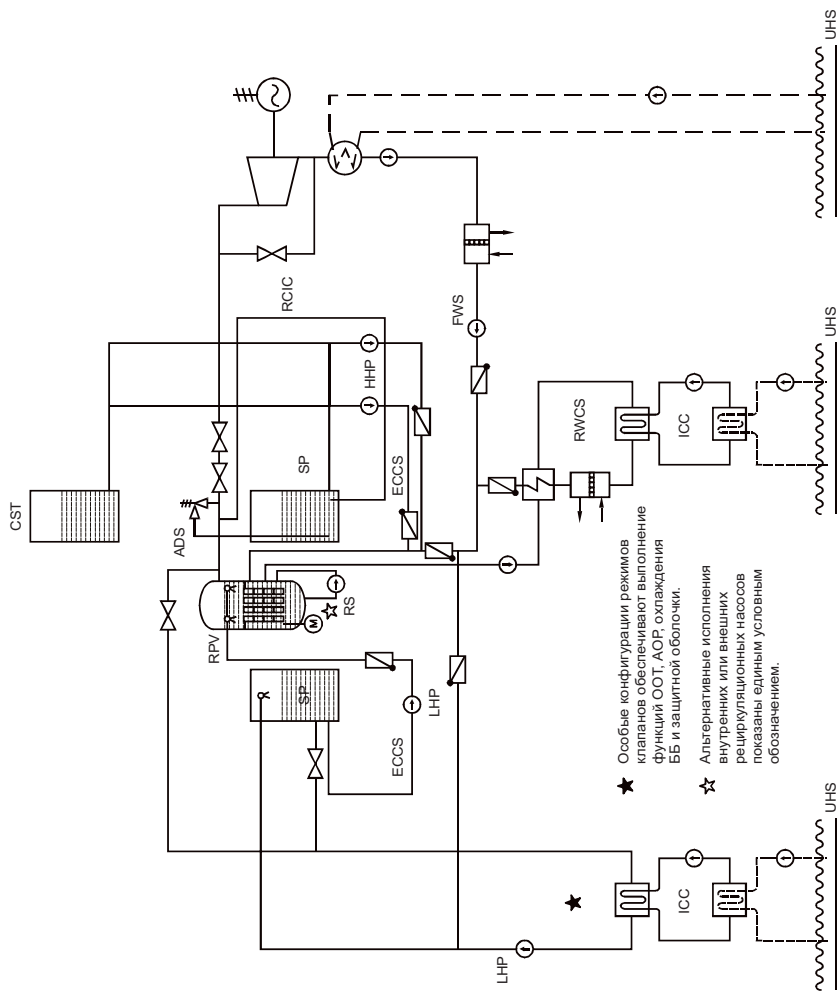


Рис. II-2. СТРС для реактора PWR.



★ Особые конфигурации режимов клапанов обеспечивают выполнение функций ООТ, АОР, охлаждения ББ и защитной обложки.

☆ Альтернативные исполнения внутренних или внешних рециркуляционных насосов показаны единым условным обозначением.

Рис. II-3. СТРСС для реактора BWR.

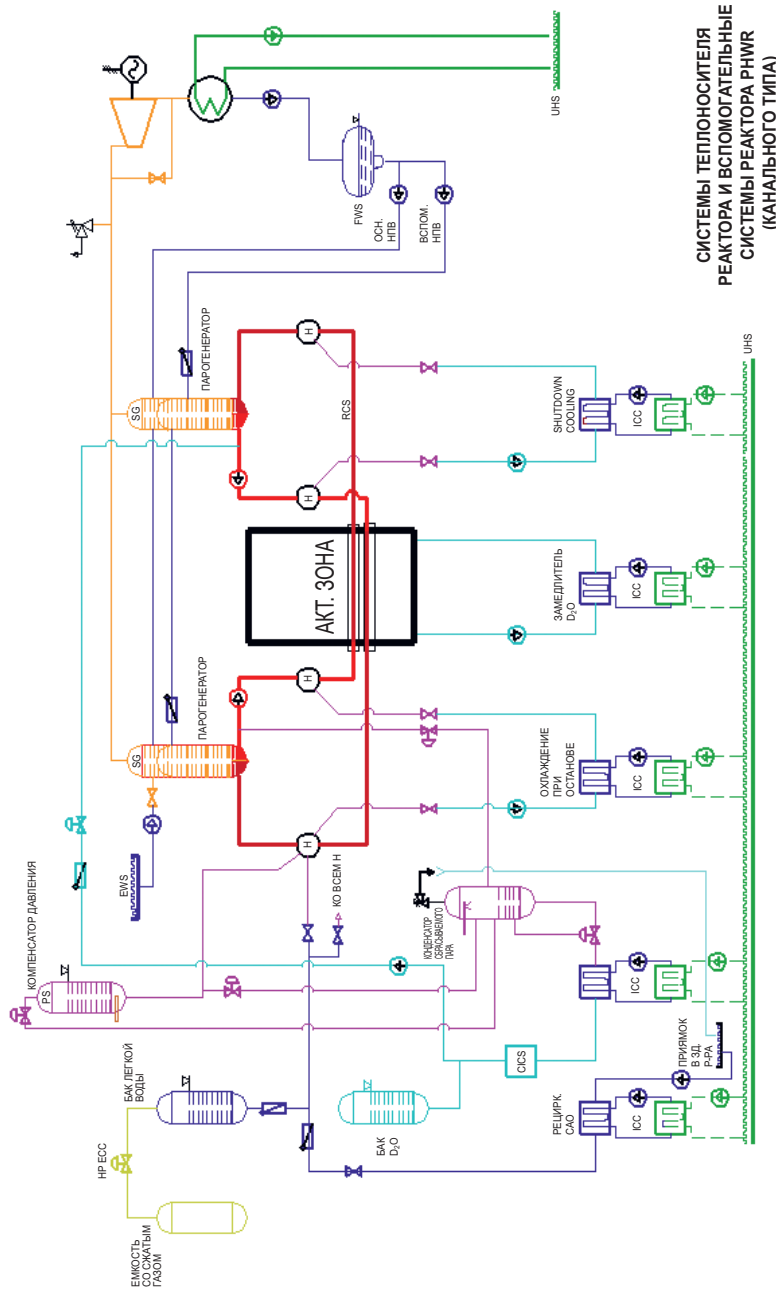


Рис. II-4. СТРС для реактора RHWR (канального типа).

Приложение III

КЛАССИФИКАЦИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И КЛАССЫ БЕЗОПАСНОСТИ УСТРОЙСТВ СОПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ПАРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ

III-1. В данном приложении приведен пример принципов классификации безопасности (см. подраздел “Классификация безопасности” в разделе 3). В представленном примере используются четыре класса безопасности. Эти четыре класса безопасности кратко описаны ниже.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛАССОВ БЕЗОПАСНОСТИ

III-2. К классу безопасности 1 относятся те функции безопасности, которые необходимы для предотвращения, в отсутствие соответствующего срабатывания систем безопасности, выброса в окружающую среду значительной части находящихся в активной зоне продуктов деления.

III-3. К классу безопасности 2 относятся функции безопасности, необходимые для смягчения последствий аварии, которая может в ином случае привести к выбросу в окружающую среду значительной части находящихся в активной зоне продуктов деления. Последствия отказа этих функций безопасности класса 2 необходимо рассматривать только после первоначального отказа другой функции безопасности.

III-4. К классу безопасности 2 также относятся функции безопасности, которые необходимы для предотвращения того, чтобы ожидаемые при эксплуатации события могли привести к аварийным условиям, за исключением тех функций безопасности, которые являются вспомогательными по отношению к другой функции безопасности, а именно, следующих функций безопасности:

- теплопередачи от других систем безопасности к конечному поглотителю тепла;
- обеспечения выполнения необходимых обслуживающих функций (таких, как электроснабжение, снабжение пневмо- и гидравлической энергией, смазка) в качестве вспомогательной функции для системы безопасности;
- сохранения контроля над условиями окружающей среды внутри атомной электростанции для обеспечения работы систем безопасности.

III-5. К классу безопасности 2 относятся также другие функции, отказ которых может приводить к серьезным последствиям и которые могут быть с высокой

вероятностью востребованы в такой ситуации, как отвод из реактора остаточного тепла.

III-6. К классу безопасности 3 относятся те функции безопасности, которые являются вспомогательными для функций безопасности классов безопасности 1 и 2.

III-7. К классу безопасности 3 относятся также функции безопасности, которые необходимы для предотвращения того, чтобы радиационное облучение населения или персонала площадки, создаваемое источниками вне СТР, не превышало соответствующих пределов, и функции безопасности, связанные с более долгосрочным управлением реактивностью, чем обычно при применении функций управления реактивностью в классах безопасности 1 и 2. Кроме того, к классу безопасности 3 относятся функции безопасности, связанные с поддержанием подкритичности топлива, хранящегося вне СТР, и с отводом тепла радиоактивного распада от облученного топлива, хранящегося вне СТР.

III-8. К классу безопасности 4 относятся функции безопасности, которые не вошли в классы безопасности 1, 2 или 3.

III-9. Как отмечено выше, классификация безопасности приводит к ряду рекомендаций в отношении требований к проектированию (в том числе рекомендаций в отношении механической конструкции, качества, изготовления и инспекций). Для класса безопасности 4 необходимо, чтобы рекомендации по проектированию соответствовали обычным сводам положений и нормам для неядерных электростанций. Для более высоких классов безопасности рекомендации по проектированию будут более ограничительными и строгими.

КЛАССИФИКАЦИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

III-10. К классу безопасности 1 относятся все элементы, образующие барьер давления (удерживающий давление контур) СТР¹, кроме тех, отказ которых может приводить к потере теплоносителя реактора в таких масштабах, которые соответствуют способности систем регулирования количества теплоносителя поддерживать нормальный режим работы реактора, с тем чтобы можно было

¹ Барьер давления (удерживающий давление контур) СТР включает элементы, отказ которых может приводить к потере теплоносителя из активной зоны реактора и которые не могут быть изолированы от активной зоны с помощью соответствующего устройства сопряжения.

обеспечивать количество теплоносителя, достаточное для надлежащего останова и охлаждения реактора.

III-11. К классу безопасности 2 относятся элементы, которые являются частью барьера давления (удерживающего давление контура) СТР и не включаются в класс безопасности 1. Кроме того, к классу безопасности 2 относятся элементы, необходимые для выполнения следующих функций безопасности:

- поддержания количества теплоносителя реактора, достаточного для охлаждения активной зоны во время и после проектных аварий, которые не связаны с отказом барьера давления СТР (для реакторов BWR это относится только к соответствующим частям системы паропроводов и питательной воды);
- отвода тепла из активной зоны² после отказа барьера давления (удерживающего давление контура) СТР с целью ограничения повреждения топлива;
- отвода остаточного тепла (см. сноску 3) в эксплуатационных состояниях и в условиях проектной аварии, когда барьер давления (удерживающий давление контур) СТР остается неповрежденным.

III-12. К классу безопасности 3 относятся те элементы, которые необходимы для выполнения следующих функций безопасности:

- предотвращения неприемлемых нестационарных режимов при изменении реактивности;
- поддержания реактора в режиме безопасного останова после принятия всех мер по обеспечению останова;
- поддержанию количества теплоносителя реактора, достаточного для охлаждения активной зоны во всех эксплуатационных состояниях и после них;
- отвода тепла от других систем безопасности к конечному поглотителю тепла;
- обеспечения выполнения необходимых обслуживающих функций (таких, как электроснабжение, снабжение пневмо- и гидравлической энергией, смазка) в качестве вспомогательной функции для системы безопасности.

² Данная функция безопасности применяется к первой стадии срабатывания системы (систем) отвода тепла. Остальные стадии связаны с выполнением другой функции безопасности, т.е. с отводом тепла от других систем безопасности к конечному поглотителю тепла.

УСТРОЙСТВА СОПРЯЖЕНИЯ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К КЛАССУ УСТРОЙСТВ БЕЗОПАСНОСТИ

III-13. Типичными устройствами сопряжения являются:

- *Пассивные барьеры (такие, как трубы теплообменника).* Для труб теплообменника, которые могут подвергаться ударным нагрузкам в аварийных условиях, или в тех случаях, когда отказы труб рассматриваются в качестве единственного источника отказов пассивных элементов, следует определять приемлемость этих труб в качестве единственного барьера, и в случае необходимости следует принимать дополнительные меры.
- *Дистанционно управляемые клапаны.* Времена закрытия клапанов, которые обычно открыты и рассматриваются в качестве границы устройств класса устройств безопасности, следует задавать таким образом, чтобы сохранялась функция безопасности элементов, относящихся к более высокому классу безопасности. Время закрытия таких клапанов, например, клапанов в паропроводах и трубопроводах питательной воды, следует задавать при проектировании.
- *Клапаны с ручным управлением.* Следует разрабатывать специальные административные процедуры, обеспечивающие надлежащую эксплуатацию клапанов с ручным управлением. Кроме того, это следует подтверждать, что существует средство обнаружения того, что такой клапан непреднамеренно оставлен в неправильном состоянии и определения того, имеется ли время для восстановления его правильного состояния до того, как возникнут неприемлемые последствия.
- *Пассивные устройства ограничения потока.* Примером такого устройства сопряжения является дроссельная мембрана СТР в реакторе PWR, которая ограничивает скорость истечения теплоносителя из СТР до такого значения, при котором обеспечивается положение, при котором выбросы из СТР находятся в пределах нормальных возможностей подпитки теплоносителя первого контура.
- *Активные устройства ограничения потока.* Примером таких устройств сопряжения являются клапаны ограничения потока СТР в реакторах PWR, которые ограничивают скорость истечения теплоносителя из СТР до такого значения, при котором обеспечивается, что выбросы из СТР находятся в пределах нормальных возможностей подпитки теплоносителя первого контура.

ГЛОССАРИЙ

единичный отказ (single failure). Отказ, который приводит к потере способности элемента выполнять предписанные ему функции безопасности, а также любые последующие отказы, являющиеся результатом этого.

конечный поглотитель тепла (ultimate heat sink). Среда, в которую остаточное тепло всегда может быть отведено, даже если все другие средства удаления тепла были утрачены или являются недостаточными.

система безопасности (safety system). Система, важная для безопасности, обеспечивающая безопасный останов реактора или отвод остаточного тепла из активной зоны, либо ограничивающая последствия ожидаемых при эксплуатации событий и проектных аварий.

система защиты (protection system). Система, которая контролирует эксплуатацию реактора и которая при обнаружении ненормального условия (состояния) автоматически включает действия, направленные на предотвращение небезопасного или потенциально небезопасного режима.

состояния станции

Эксплуатационные состояния		Аварийные условия			
Нормальная эксплуатация	Ожидаемые при эксплуатации события	a	Проектные аварии	Запроектные аварии	
				b	Тяжелые аварии
				Управление авариями	

- a. Аварийные условия, которые прямо не учитываются в проектных авариях, но охватываются ими.
- b. Запроектные аварии без значительного повреждения активной зоны.

аварийные условия (accident conditions). Отклонения от нормальной эксплуатации, более серьезные, чем ожидаемые при эксплуатации события, включая проектные аварии и тяжелые аварии.

нормальная эксплуатация (normal operation). Эксплуатация в установленных эксплуатационных пределах и условиях.

ожидаемое при эксплуатации событие (anticipated operational occurrence). Отклонение эксплуатационного процесса от нормальной эксплуатации, которое, как можно ожидать, произойдет как минимум один раз в течение срока эксплуатации (эксплуатационного ресурса) установки, но которое благодаря соответствующим предусмотренным в проекте мерам не нанесет значительного повреждения узлам, важным для безопасности, и не приведет к аварийным условиям.

проектная авария (design basis accident). Аварийные условия, с учетом которых проектируется атомная электростанция в соответствии с установленными проектными критериями и при которых повреждение топлива и выбросы радиоактивного материала находятся в разрешенных (санкционированных) пределах.

тяжелая авария (severe accident). Аварийные состояния, более тяжелые, чем проектная авария, которые вызывают значительные повреждения активной зоны.

управление авариями (accident management). Принятие комплекса мер во время развития последовательности событий запроектной аварии:

- с целью предотвращения эскалации данного события в тяжелую аварию;
- с целью смягчения последствий тяжелой аварии;
- с целью достижения долгосрочного безопасного стабильного состояния.

эксплуатационные состояния (operational states). Состояния, оговариваемые определениями 'нормальная эксплуатация' и 'ожидаемые при эксплуатации события'.

функция безопасности (safety function). Конкретная цель, которая должна быть достигнута для обеспечения безопасности.

СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ

Benedetti, C.	консультант, Франция
Eltawila, F.	Комиссия по ядерному регулированию, Соединенные Штаты Америки
Inagaki, T.	Международное агентство по атомной энергии
Mertins, M.	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Германия
Nuzzo, F.	Atomic Energy of Canada Ltd., Канада
Pedersen, T.	ABB Atom AB, Швеция
Tezuka, H.	Международное агентство по атомной энергии
Vidard, M.	Electricité de France, Франция
Zama, T.	Tokyo Electric Power Company, Япония

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.-С.; Германия: Renneberg, W.; Индия: Sukhatme, S.P.; Япония: Tobioka, T.; Suda, N.; Корея, Республика: Eun, S.; Российская Федерация: Малышев, А. Б.; Вишневецкий, 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.-С.; МАГАТЭ: Bevington, L. (координатор); Международная организация по стандартизации: Nigon, J.L.; Агентство по ядерной энергии ОЭСР: Hrehor, M.*

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.; *Китай:* Yang, H.; *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. W.; **Мадагаскар:* Andriambololona, R.; **Мексика:* Delgado Guardado, J.L.; **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 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 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.

МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
ВЕНА
ISBN 978-92-0-403008-2
ISSN 1020-5845