

Нормы МАГАТЭ по безопасности

для защиты людей и охраны окружающей среды

Разработка и применение вероятностной оценки безопасности уровня 2 для атомных электростанций

Специальное руководство по безопасности
№ SSG-4



IAEA

Международное агентство по атомной энергии

НОРМЫ МАГАТЭ ПО БЕЗОПАСНОСТИ И ДРУГИЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ДАННОЙ ТЕМЕ

НОРМЫ МАГАТЭ ПО БЕЗОПАСНОСТИ

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

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

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

<http://www-ns.iaea.org/standards/>

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

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

ПУБЛИКАЦИИ ПО ДАННОЙ ТЕМЕ

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

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

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

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

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

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ
ВЕРОЯТНОСТНОЙ
ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ УРОВНЯ 2
ДЛЯ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Членами Международного агентства по атомной энергии являются следующие государства:

АВСТРАЛИЯ	КАЗАХСТАН	ПАПУА-НОВАЯ ГВИНЕЯ
АВСТРИЯ	КАМБОДЖА	ПЕРУ
АЗЕРБАЙДЖАН	КАМЕРУН	ПОЛЬША
АЛБАНИЯ	КАНАДА	ПОРТУГАЛИЯ
АЛЖИР	КАТАР	РЕСПУБЛИКА МОЛДОВА
АНГОЛА	КЕНИЯ	РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ
АРГЕНТИНА	КИПР	РУАНДА
АРМЕНИЯ	КИТАЙ	РУМЫНИЯ
АФГАНИСТАН	КОЛУМБИЯ	САЛЬВАДОР
БАГАМСКИЕ ОСТРОВА	КОНГО	САН-МАРИНО
БАНГЛАДЕШ	КОРЕЯ, РЕСПУБЛИКА	САУДОВСКАЯ АРАВИЯ
БАХРЕЙН	КОСТА-РИКА	СВАЗИЛЕНД
БЕЛАРУСЬ	КОТ-д'Ивуар	СВЯТОЙ ПРЕСТОЛ
БЕЛИЗ	КУБА	СЕЙШЕЛЬСКИЕ ОСТРОВА
БЕЛЬГИЯ	КУВЕЙТ	СЕНЕГАЛ
БЕНИН	КЫРГЫЗСТАН	СЕРБИЯ
БОЛГАРИЯ	ЛАТВИЯ	СИНГАПУР
БОЛИВИЯ	ЛАОССКАЯ НАРОДНО- ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА	СИРИЙСКАЯ АРАБСКАЯ РЕСПУБЛИКА
БОСНИЯ И ГЕРЦЕГОВИНА	ЛЕСОТО	СЛОВАКИЯ
БОТСВАНА	ЛИБЕРИЯ	СЛОВЕНИЯ
БРАЗИЛИЯ	ЛИВАН	СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО ВЕЛИКОБРИТАНИИ И СЕВЕРНОЙ ИРЛАНДИИ
БРУНЕЙ-ДАРУССАЛАМ	ЛИВИЯ	СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ
БУРКИНА-ФАСО	ЛИТВА	СУДАН
БУРУНДИ	ЛИХТЕНШТЕЙН	СЬЕРРА-ЛЕОНЕ
БЫВШАЯ ЮГОСЛ. РЕСП. МАКЕДОНИЯ	ЛЮКСЕМБУРГ	ТАДЖИКИСТАН
ВЕНГРИЯ	МАВРИКИЙ	ТАИЛАНД
ВЕНЕСУЭЛА,	МАВРИТАНИЯ,	ТОГО
БОЛИВАРИАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА	ИСЛАМСКАЯ РЕСПУБЛИКА	ТРИНИДАД И ТОБАГО
ВЬЕТНАМ	МАДАГАСКАР	ТУНИС
ГАБОН	МАЛАВИ	ТУРЦИЯ
ГАИТИ	МАЛАЙЗИЯ	УГАНДА
ГАНА	МАЛИ	УЗБЕКИСТАН
ГВАТЕМАЛА	МАЛЬТА	УКРАИНА
ГЕРМАНИЯ	МАРОККО	УРУГВАЙ
ГОНДУРАС	МАРШАЛЛОВЫ ОСТРОВА	ФИДЖИ
ГРЕЦИЯ	МЕКСИКА	ФИЛИППИНЫ
ГРУЗИЯ	МОЗАМБИК	ФИНЛЯНДИЯ
ДАНИЯ	МОНАКО	ФРАНЦИЯ
ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА КОНГО	МОНГОЛИЯ	ХОРВАТИЯ
ДОМИНИКА	МЬЯНМА	ЦЕНТРАЛЬНОАФРИКАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА
ДОМИНИКАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА	НАМИБИЯ	ЧАД
ЕГИПЕТ	НЕПАЛ	ЧЕРНОГОРИЯ
ЗАМБИЯ	НИГЕР	ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА
ЗИМБАБВЕ	НИГЕРИЯ	ЧИЛИ
ИЗРАИЛЬ	НИДЕРЛАНДЫ	ШВЕЙЦАРИЯ
ИНДИЯ	НИКАРАГУА	ШВЕЦИЯ
ИНДОНЕЗИЯ	НОВАЯ ЗЕЛАНДИЯ	ШРИ-ЛАНКА
ИОРДАНИЯ	НОРВЕГИЯ	ЭКВАДОР
ИРАК	ОБЪЕДИНЕННАЯ РЕСПУБЛИКА ТАНЗАНИЯ	ЭРИТРЕЯ
ИРАН, ИСЛАМСКАЯ РЕСПУБЛИКА	ОБЪЕДИНЕННЫЕ АРАБСКИЕ ЭМИРАТЫ	ЭСТОНИЯ
ИРЛАНДИЯ	ОМАН	ЭФИОПИЯ
ИСЛАНДИЯ	ПАКИСТАН	ЮЖНАЯ АФРИКА
ИСПАНИЯ	ПАЛАУ	ЯМАЙКА
ИТАЛИЯ	ПАНАМА	ЯПОНИЯ
ЙЕМЕН	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 МАГАТЭ ПО БЕЗОПАСНОСТИ, № SSG-4

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ
ВЕРОЯТНОСТНОЙ
ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ УРОВНЯ 2
ДЛЯ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

СПЕЦИАЛЬНОЕ РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ

МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
ВЕНА, 2014

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 маркетинга и сбыта, Издательская секция
Международное агентство по атомной энергии
Vienna International Centre
PO 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, 2014

Напечатано МАГАТЭ в Австрии
Июль 2014
STI/PUB/1443

**РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ
ВЕРОЯТНОСТНОЙ
ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ УРОВНЯ 2
ДЛЯ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
МАГАТЭ, ВЕНА, 2014
STI/PUB/1443
ISBN 978–92–0–404614–4
ISSN 1020–5845**

ПРЕДИСЛОВИЕ

Устав МАГАТЭ уполномочивает Агентство устанавливать нормы безопасности для охраны здоровья и сведения к минимуму опасности для жизни и имущества – нормы, которые МАГАТЭ должно использовать в своей собственной работе и которые государства могут применять посредством их включения в свои регулирующие положения в области ядерной и радиационной безопасности. Всеобъемлющий свод регулярно пересматриваемых норм безопасности наряду с помощью МАГАТЭ в их применении стал ключевым элементом глобального режима безопасности.

В середине 1990-х годов было начато осуществление существенного пересмотра программы норм МАГАТЭ по безопасности, была введена пересмотренная структура комитета по надзору и принят системный подход к обновлению всего свода норм. В результате этого новые нормы отвечают наивысшим требованиям и воплощают наилучшую практику в государствах-членах. С помощью Комиссии по нормам безопасности МАГАТЭ проводит работу с целью содействия глобальному признанию и использованию своих норм безопасности.

Однако нормы безопасности эффективны лишь тогда, когда они правильно применяются на практике. Услуги, оказываемые МАГАТЭ в области обеспечения безопасности, которые касаются вопросов инженерной безопасности, эксплуатационной безопасности, радиационной безопасности, безопасности перевозки и безопасности отходов, а также вопросов регулирования и культуры безопасности в организациях, помогают государствам-членам применять эти нормы и оценивать их эффективность. Эти услуги в области обеспечения безопасности позволяют осуществлять обмен ценной информацией, и я продолжаю призывать все государства-члены пользоваться ими.

Ответственность за деятельность по регулированию ядерной и радиационной безопасности возлагается на страны, и многие государства-члены принимают решение применять нормы МАГАТЭ по безопасности в своих национальных регулирующих положениях. Для договаривающихся сторон различных международных конвенций по безопасности нормы МАГАТЭ являются согласованным и надежным средством обеспечения эффективного выполнения обязательств, вытекающих из этих конвенций. Указанные нормы применяются также проектировщиками, изготовителями оборудования и операторами во всем мире в целях повышения ядерной и радиационной безопасности в энергетике, медицине, промышленности, сельском хозяйстве, научных исследованиях и образовании.

МАГАТЭ серьезно относится к долгосрочной задаче, стоящей перед всеми пользователями и регулирующими органами, – обеспечивать высокий уровень безопасности при использовании ядерных материалов и источников излучения во всем мире. Их непрерывное использование на благо человечества должно осуществляться безопасным образом, и нормы МАГАТЭ по безопасности предназначены для содействия достижению этой цели.

НОРМЫ МАГАТЭ ПО БЕЗОПАСНОСТИ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

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

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

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

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

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

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

НОРМЫ МАГАТЭ ПО БЕЗОПАСНОСТИ

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

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

Меры по обеспечению безопасности и физической безопасности¹ преследуют общую цель защиты жизни и здоровья людей и охраны окружающей среды. Меры по обеспечению безопасности и физической безопасности должны разрабатываться и осуществляться комплексно, таким образом, чтобы меры по обеспечению физической безопасности не осуществлялись в ущерб безопасности, и наоборот, чтобы меры по обеспечению безопасности не осуществлялись в ущерб физической безопасности.

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

¹ См. также публикации в Серии изданий МАГАТЭ по физической ядерной безопасности.



РИС. 1. Долгосрочная структура Серии норм МАГАТЭ по безопасности.

Основы безопасности

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

Требования безопасности

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

Руководства по безопасности

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

ПРИМЕНЕНИЕ НОРМ МАГАТЭ ПО БЕЗОПАСНОСТИ

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

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

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

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

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

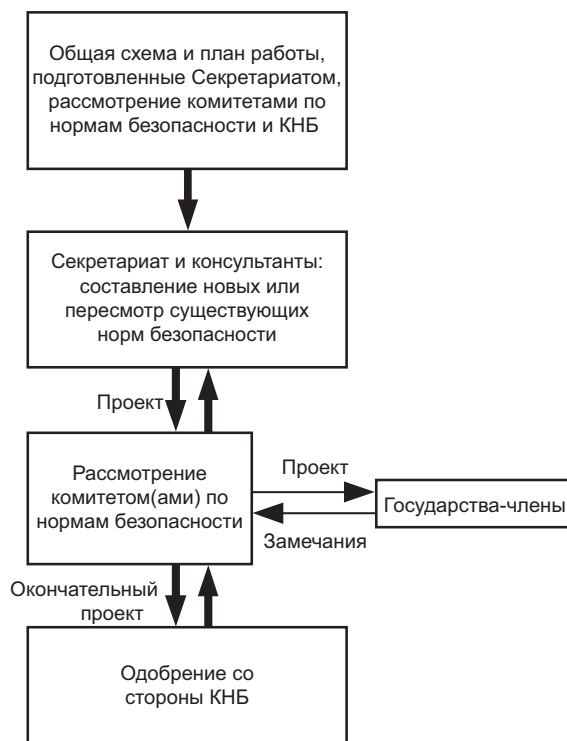


РИС. 2. Процесс разработки новых норм безопасности или пересмотр существующих норм.

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

Научные соображения, лежащие в основе норм МАГАТЭ по безопасности, обеспечивают объективную основу для принятия решений по вопросам безопасности; однако лица, отвечающие за принятие решений, должны также выносить обоснованные суждения и должны определять,

как лучше всего сбалансировать выгоды принимаемых мер или осуществляемой деятельности с учетом соответствующих радиационных рисков и любых иных вредных последствий этих мер или деятельности.

ПРОЦЕСС РАЗРАБОТКИ НОРМ МАГАТЭ ПО БЕЗОПАСНОСТИ

Подготовкой и рассмотрением норм безопасности занимаются Секретариат МАГАТЭ и четыре комитета по нормам безопасности, охватывающих ядерную безопасность (НУССК), радиационную безопасность (РАССК), безопасность радиоактивных отходов (ВАССК) и безопасную перевозку радиоактивных материалов (ТРАНССК), а также Комиссия по нормам безопасности (КНБ), которая осуществляет надзор за программой по нормам МАГАТЭ по безопасности (см. рис. 2).

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

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

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ДРУГИМИ МЕЖДУНАРОДНЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ

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

ТОЛКОВАНИЕ ТЕКСТА

Относящиеся к безопасности термины должны толковаться в соответствии с определениями, данными в Глоссарии МАГАТЭ по вопросам безопасности (см. <http://www-ns.iaea.org/standards/safety-glossary.htm>). Во всех остальных случаях в издании на английском языке слова используются с написанием и значением, приведенными в последнем издании Краткого оксфордского словаря английского языка. Для руководств по безопасности аутентичным текстом является английский вариант.

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

1.	ВВЕДЕНИЕ	1
	Общие сведения (1.1-1.9)	1
	Цель (1.10-1.12)	6
	Сфера применения (1.13-1.16)	7
	Структура (1.17).....	8
2.	ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТОМ ПО ВОБ (2.1)	9
	Определение целей ВОБ уровня 2 (2.2-2.7)	9
	Сфера охвата ВОБ уровня 2 (2.8-2.11).....	11
	Управление проектом по ВОБ (2.12-2.15)	12
	Подбор специалистов в группу (2.16-2.17)	14
3.	ОПРЕДЕЛЕНИЕ АСПЕКТОВ ПРОЕКТА, ВАЖНЫХ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЙ, И СБОР ИНФОРМАЦИИ	15
	Определение аспектов проекта, важных с точки зрения тяжелых аварий (3.1-3.3)	15
	Сбор информации, важной для анализа тяжелых аварий (3.4-3.6)	16
4.	СВЯЗЬ С ВОБ УРОВНЯ 1: ГРУППИРОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ (4.1-4.2)	19
	Состояния повреждения станции при ВОБ для внутренних исходных событий в условиях работы на полной мощности (4.3-4.8)	20
	Состояния повреждения станции для существующей ВОБ уровня 1 (4.9).....	24
	Расширение сферы охвата ВОБ уровня 2 за счет включения других исходных событий (4.10).....	25
	Расширение сферы охвата ВОБ уровня 2 за счет включения других режимов работы на мощности (4.11-4.12).....	25

5.	АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ АВАРИИ И АНАЛИЗ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ	26
	Анализ поведения защитной оболочки во время тяжелых аварий (5.1-5.10)	26
	Анализ развития тяжелых аварий (5.11-5.15)	29
	Разработка и квантификация деревьев событий при развитии аварии или деревьев событий защитной оболочки (5.16-5.31)	32
	Рассмотрение неопределенностей (5.32-5.42)	41
	Общее описание и интерпретация результатов квантификации деревьев отказов защитной оболочки(5.43-5.47)	45
6.	ПАРАМЕТРЫ ИСТОЧНИКА ВЫБРОСОВ ПРИ ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЯХ (6.1-6.2)	47
	Задание категорий выбросов (6.3-6.6)	48
	Группирование конечных состояний деревьев событий защитной оболочки по категориям выбросов (6.7-6.10)	50
	Анализ параметров источника выбросов (6.11-6.19)	51
	Верификация и валидация компьютерных кодов для анализа параметров источника выбросов (6.20-6.21)	56
	Результаты анализа параметров источника выбросов (6.22-6.25)	56
	Неопределенности (6.26-6.28)	59
7.	ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ АНАЛИЗА: ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ (7.1-7.2)	61
	Цели документации (7.3-7.8)	61
	Организация документации (7.9-7.15)	63
8.	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОБ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ (8.1)	65
	Сфера охвата и уровень детализации ВОБ для применений (8.2-8.4)	65
	Использование ВОБ на протяжении всего жизненного цикла станции (8.5-8.6)	66
	Риск-ориентированный подход (8.7-8.8)	67
	Сравнение с вероятностными критериями безопасности (8.9-8.13)	68

Использование ВОБ для оценки проекта (8.14-8.20)	69
Управление тяжелыми авариями (8.21-8.23)	71
Аварийное планирование (8.24-8.26)	73
Последствия за пределами площадки (8.27-8.28)	73
Установление приоритетов исследований (8.29-8.30)	74
Прочие применения ВОБ (8.31)	74
СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	75
ПРИЛОЖЕНИЕ I: ПРИМЕР ТИПОВОГО ГРАФИКА ДЛЯ ВОБ УРОВНЯ 2	79
ПРИЛОЖЕНИЕ II: КОМПЬЮТЕРНЫЕ КОДЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЙ	80
ПРИЛОЖЕНИЕ III: ОБРАЗЕЦ СТРУКТУРЫ ДОКУМЕНТАЦИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОБ УРОВНЯ 2	91
СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ	95
ОРГАНЫ, УЧАСТВУЮЩИЕ В ОДОБРЕНИИ НОРМ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ	97

1. ВВЕДЕНИЕ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. В публикации категории Основ безопасности «Основополагающие принципы безопасности» [1] устанавливаются принципы обеспечения защиты персонала, населения и окружающей среды от вредного влияния ионизирующих излучений в настоящее время и в будущем. В этих принципах подчеркивается необходимость оценки рисков, создаваемых ядерными установками, и управления ими. В частности, Принцип 5 (пункт 3.22 [1]), касающийся оптимизации защиты, гласит:

«Для определения, действительно ли радиационные риски низки настолько, насколько это реально достижимо, все такие риски, связанные с обычной эксплуатацией и деятельностью или нештатными или аварийными ситуациями, должны пройти оценку (с использованием дифференцированного подхода) априори и должны периодически проходить последующую оценку на протяжении всего жизненного цикла установок и всей деятельности».

1.2. С целью предоставления более конкретных требований к оценке рисков для атомных электростанций были разработаны несколько публикаций МАГАТЭ категории Требований безопасности. В публикации категории Требований безопасности «Оценка безопасности установок и деятельности» ([2], пункт 4.13) подчеркивается необходимость проведения комплексного анализа безопасности:

«В оценку безопасности необходимо включать анализ безопасности, состоящий из ряда различных количественных анализов, проводимых с целью определения и оценки разных эксплуатационных состояний, ожидаемых при эксплуатации событий и аварийных условий посредством применения детерминированных и вероятностных методов».

Кроме того, в связи с Требованием 15 в [2] (пункт 4.55) в отношении детерминистических и вероятностных подходов указывается, что:

«Цели вероятностного анализа безопасности сводятся к определению всех значительных факторов, увеличивающих радиационные риски, связанные с данной установкой или деятельностью, и к оценке степени,

в которой проект в целом можно считать хорошо сбалансированным и отвечающим вероятностным критериям безопасности, если таковые были определены».

1.3. В публикации категории Требований по безопасности «Безопасность атомных электростанций: Проектирование» ([3], пункте 5.69) устанавливается, что:

«Должен проводиться анализ безопасности проекта станции, для которого должны применяться методы как детерминированного, так и вероятностного анализа. На основе этого анализа устанавливается и подтверждается основа проекта для узлов, важных для безопасности.»

Далее в [3] также подчеркивается (пункт 5.73), что:

«Вероятностный анализ безопасности станции должен осуществляться для того, чтобы:

- 1) выполнить систематический анализ для обеспечения уверенности в том, что данный проект соответствует общим целям безопасности;
- 2) подтвердить, что разработан сбалансированный проект таким образом, что никакая особая характеристика или ПИС¹ не вносят непропорционально большой или в значительной степени неопределенный вклад в общий риск, и что первые два уровня глубокоэшелонированной защиты несут основное бремя по обеспечению ядерной безопасности;
- 3) обеспечить уверенность в том, что небольшие отклонения от параметров станции, которые могут привести к существенно ненормальному поведению станции (“пороговым эффектам”), будут предотвращаться;
- 4) провести оценки вероятности возникновения серьезных повреждения активной зоны, а также оценки рисков больших выбросов за пределами площадки, требующих принятия незамедлительных ответных мер за пределами площадки, в частности, в случае выбросов, связанных с ранним повреждением защитной оболочки;

¹ ПИС: постулируемое исходное событие.

- 5) провести оценки вероятности возникновения и последствий внешних опасностей, в частности являющихся уникальными для данной площадки станции;
- 6) определить системы, усовершенствования конструкции или изменения (модификации) эксплуатационных процедур которых могут снизить вероятность тяжелых аварий или смягчить их последствия;
- 7) оценить адекватность аварийных процедур на станции;
- 8) проверить соответствие целям вероятностного подхода, если они определены».

1.4. Таким образом, для оценки и проверки безопасности атомных электростанций с учетом потенциальных внутренних исходных событий и внутренних и внешних опасностей необходимо проводить всестороннюю вероятностную оценку безопасности (ВОБ). Настоящее руководство по безопасности дополняет руководство по безопасности, посвященное ВОБ уровня 1 [4], предоставляя рекомендации относительно того, какой анализ необходимо проводить и какие вопросы следует рассматривать для обеспечения того, чтобы ВОБ уровня 2 соответствовала требованиям к оценке безопасности, установленным в [2].

1.5. Показано, что ВОБ предоставляет важную информацию о безопасности в дополнение к сведениям, полученным в рамках детерминистического анализа. ВОБ обеспечивает методологический подход к определению аварийных последовательностей, которые могут возникать после самых различных исходных событий, и включает систематическое и реалистичное определение частоты аварий и их последствий. Вообще говоря, в международной практике различают три уровня ВОБ:

- 1) в рамках ВОБ уровня 1 анализируются проектные и эксплуатационные характеристики станции с целью определения последовательностей событий, которые могут приводить к повреждению активной зоны, и оценивается частота повреждения активной зоны. ВОБ уровня 1 предоставляет ценную информацию относительно слабых и сильных сторон систем, связанных с безопасностью, и процедур, введенных или предусмотренных с целью предотвращения повреждения активной зоны;
- 2) в рамках ВОБ уровня 2 оценивается хронологическое развитие последовательностей событий, связанных с повреждением активной зоны, которые были определены в рамках ВОБ уровня 1, включая количественную оценку явлений, возникающих вследствие серьезного повреждения топлива в реакторе. С помощью ВОБ уровня 2 определяется

то, каким образом связанные с таким повреждением выбросы радиоактивных материалов из топлива могут приводить к выбросам в окружающую среду. При этом также определяются частота, величина и прочие соответствующие характеристики выброса радиоактивных материалов в окружающую среду. Такой анализ позволяет получить дополнительные сведения об относительной важности мер по предотвращению и смягчению последствий аварий и физических барьеров на пути выброса радиоактивных материалов в окружающую среду (например, здания защитной оболочки);

- 3) в рамках ВОБ уровня 3 оцениваются последствия для здоровья населения и другие социальные последствия, такие как радиоактивное заражение почвы или продуктов питания в связи с аварийными последовательностями, приводящими к выбросу радиоактивных материалов в окружающую среду.

ВОБ также классифицируются по диапазону исходных событий (внутренних и/или внешних по отношению к станции) и по режимам эксплуатации станции, которые подлежат рассмотрению.

1.6. Если цель ВОБ заключается в определении всех факторов, вносящих вклад в риск для здоровья населения и общества в целом, то при такой ВОБ следует учитывать вероятность выбросов из других источников радиоактивности на станции, каковыми являются, например, облученное топливо или радиоактивные отходы, находящиеся на хранении. Такая цель не рассматривается подробно в данном руководстве по безопасности, поскольку оно сконцентрировано, прежде всего, на выбросах радиоактивных материалов вследствие тяжелых аварий.

1.7. ВОБ уровня 2 - это структурированный процесс. Несмотря на возможные отличия в подходах к проведению ВОБ уровня 2, общие основные этапы показаны на Рис. 1, а именно:

- 1) ВОБ уровня 1 предоставляет информацию об аварийных последовательностях, которые приводят к повреждению активной зоны, и тем самым задает отправную точку для ВОБ уровня 2. Аварийные последовательности, установленные в ходе ВОБ уровня 1, могут не включать информацию о состоянии систем защитной оболочки, которые позволяют смягчить последствия тяжелых аварий;
- 2) связь между ВОБ уровня 1 и ВОБ уровня 2 возникает там, где аварийные последовательности, ведущие к повреждению активной зоны, группируются в состояния повреждения станции на основе сходства

станционных условий, которые определяют дальнейшее развитие аварии. Если при проведении ВОБ уровня 1 состояние систем защитной оболочки не рассматривалось, то его необходимо рассматривать посредством анализа горизонтальных связей между ВОБ уровня 1 и ВОБ уровня 2 или в самом начале проведения ВОБ уровня 2;

- 3) анализ дерева событий защитной оболочки² - это этап, на котором моделируется развитие аварий для определения аварийных последовательностей, ведущих к проблемам с защитной оболочкой и выбросам радиоактивных материалов в окружающую среду;
- 4) анализ источников выбросов используется для определения количеств радиоактивных материалов, выбрасываемых в окружающую среду, по каждой категории выбросов.

1.8. Следует отметить, что процесс проведения ВОБ не является уникальным и зависит от выбранного подхода к проведению ВОБ уровня 2. Для практических целей процесс ВОБ уровня 2 может потребовать решения ряда задач по группированию событий, выполняемому как показано на Рис. 1:

- а) группирование последовательностей, приводящих к повреждению активной зоны (расширенных с целью включения состояния систем защитной оболочки), в состоянии повреждения станции, которые представляют собой отправную точку для ВОБ уровня 2;

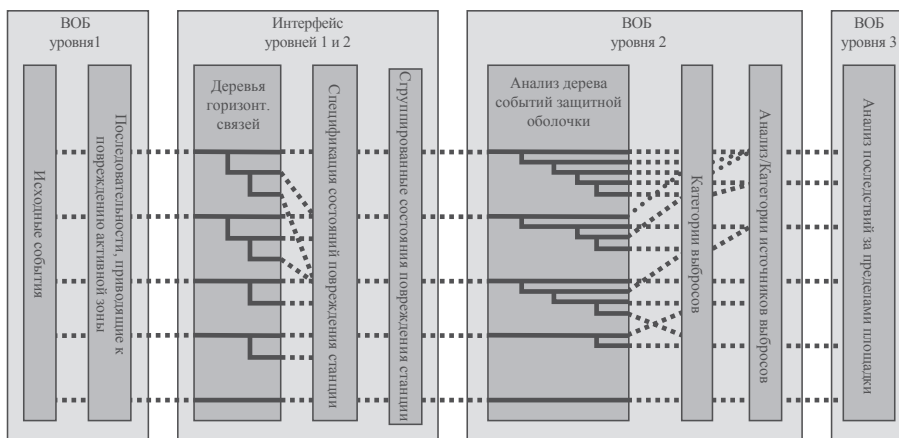


РИС. 1. Общая схема разработки типовой ВОБ уровня 2

² Некоторыми специалистами для данной части ВОБ уровня 2 также используется термин «дерево событий при развитии аварии».

- b) группирование сходных состояний повреждения станции в набор обобщенных состояний повреждения станции, которые должны быть введены в анализ дерева событий защитной оболочки;
- c) группирование тяжелых аварийных последовательностей, определенных в ходе анализа дерева событий защитной оболочки, по категориям выбросов;
- d) группирование категорий выбросов в набор обобщенных категорий источников выбросов, которые далее используются в ВОБ уровня 3.

1.9. К настоящему времени ВОБ уровня 1 проведена почти для всех атомных электростанций во всем мире. ВОБ уровня 2 проводилась и проводится для большинства атомных электростанций во всем мире. Кроме того, для некоторых атомных электростанций в определенных государствах проведена ВОБ уровня 3.

ЦЕЛЬ

1.10. Целью настоящего руководства по безопасности является предоставление рекомендаций по выполнению требований публикации [2] при организации или управлении проектом проведения ВОБ уровня 2 для АЭС; поэтому настоящее руководство по безопасности дополняет руководство по безопасности [4], посвященное ВОБ уровня 1. Одной из целей является выработка стандартной структуры, стандартной терминологии и стандартного набора документов для ВОБ, что позволяет облегчить экспертное рассмотрение результатов ВОБ, проводимое регулирующим органом и независимыми экспертами.

1.11. Настоящее руководство по безопасности, кроме того, предоставляет надежное средство эффективного выполнения обязательств статьи 14 Конвенции о ядерной безопасности [5].

1.12. Рекомендации, изложенные в настоящем руководстве, основаны на международно признанной надлежащей практике. Однако не ставится цель предотвратить использование эквивалентных новых или альтернативных методов. Напротив, поощряется использование любых методов, которые позволяют достичь целей ВОБ уровня 2. По мере улучшения понимания явлений тяжелых аварий методы анализа могут изменяться. В то же время ожидается, что структура ВОБ, представленная в настоящем руководстве по безопасности, будет применяться в обозримом будущем.

СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ

1.13. В настоящем руководстве по безопасности рассматриваются необходимые технические особенности ВОБ уровня 2 для атомных электростанций, относящиеся к ее применению, причем особое внимание уделяется процедурным этапам и важным элементам ВОБ, а не деталям методов моделирования, поскольку считается, что методы моделирования достаточно хорошо описаны в соответствующей литературе. Настоящее руководство по безопасности охватывает все этапы ВОБ уровня 2, до (включительно) определения параметров источника выбросов, которые требуются в качестве исходной информации для ВОБ уровня 3.

1.14. В настоящем руководстве по безопасности описываются все аспекты ВОБ уровня 2, которые необходимо осуществлять в случае, если отправной точкой является полномасштабная ВОБ уровня 1, как она описана в [4]. Если задачи ВОБ уровня 2 ограничиваются описанными в пунктах 2.3- 2.7, то следует выполнять только соответствующие части рекомендаций, представленных в настоящем руководстве по безопасности; если же сфера охвата ВОБ уровня 1 ограничивается тем, что изложено в пунктах 2.8- 2.10, то помимо того, что изложено в настоящем руководстве по безопасности, потребуется проведение дополнительного анализа.

1.15. В разных проектах станций применяются различные меры по предотвращению или ограничению выбросов радиоактивных материалов после тяжелых аварий. В большинстве проектов в качестве одной из пассивных мер с этой целью предусмотрено сооружение защитной оболочки. Явления, связанные с тяжелыми авариями, также зависят от конструкции и состава активной зоны реактора. Рекомендации в данном руководстве по безопасности вырабатывались, по мере возможности, вне зависимости от технологий. Однако количество и содержание различных этапов анализа предполагает наличие конструкции защитной оболочки того или иного типа.

1.16. Общие аспекты проведения ВОБ, управления проектом ВОБ, документирования и экспертного рассмотрения ВОБ и осуществления системы управления, соответствующей требованиям документа «Система управления установками и деятельностью» [6], описываются в руководстве по безопасности, посвященном ВОБ уровня 1 [4], и потому в настоящем документе не рассматриваются. В настоящем руководстве по безопасности рассматриваются только те специфические аспекты ВОБ, которые относятся к ВОБ уровня 2.

СТРУКТУРА

1.17. Настоящее руководство по безопасности состоит из восьми разделов и трех приложений. Разделы 2-7 содержат рекомендации по проведению ВОБ уровня 2. Эти разделы соответствуют основным процедурным этапам ВОБ уровня 2, показанным на Рис. 2. Раздел 8 содержит рекомендации по использованию ВОБ уровня 2 и ее применений. В Приложении I содержится пример типового графика проведения ВОБ уровня 2. В Приложении II обсуждаются разные типы компьютерных кодов для моделирования тяжелых аварий и проведения исследований ВОБ. В Приложении III содержится пример структуры документации по ВОБ уровня 2.

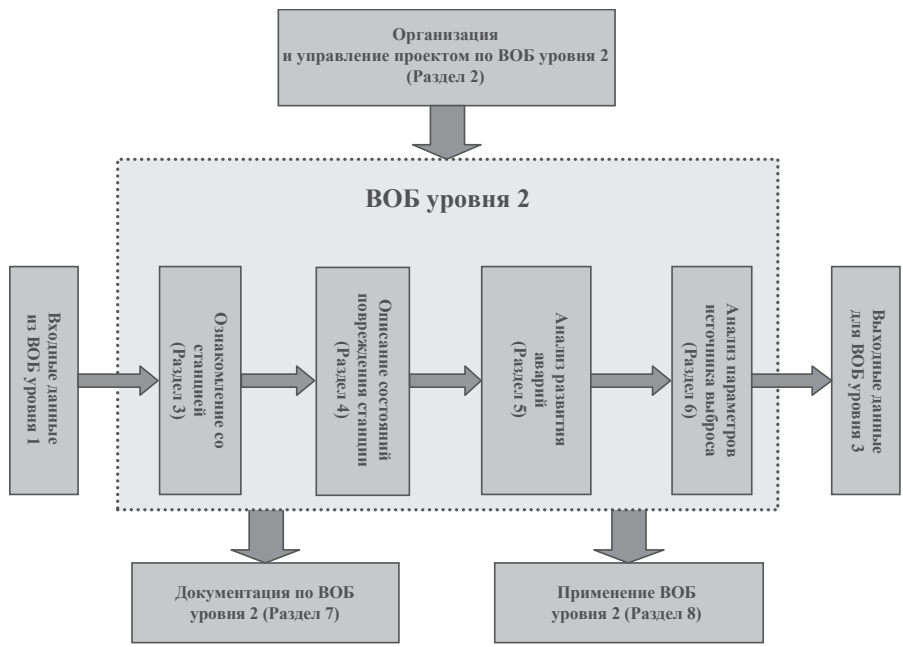


Рис. 2. Основные этапы выполнения ВОБ уровня 2

2. ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТОМ ПО ВОБ

2.1. Данный раздел содержит рекомендации по выполнению Требования 22 [2] в отношении управления оценкой безопасности. Детальные аспекты управления проектом и организации ВОБ, изложенные в разделе 3 руководства по безопасности, посвященного проведению ВОБ уровня 1 [4], также применимы в отношении ВОБ уровня 2 и в данном документе не повторяются. В настоящем разделе изложены только те аспекты, которые представляют важность для ВОБ уровня 2.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕЙ ВОБ УРОВНЯ 2

2.2. В пунктах 2.2-2.7 содержатся рекомендации по выполнению Требования 4 публикации [2] в отношении цели оценки безопасности. ВОБ уровня 2 охватывает развитие событий, которые могут происходить в ядерном реакторе после аварии, в результате которой произошло серьезное повреждение активной зоны реактора (тяжелая авария). Основная задача анализа заключается в том, чтобы установить, предусмотрены ли достаточные меры для управления тяжелой аварией и смягчения последствий такой аварии. Эти меры могут включать:

- a) системы, специально предусмотренные для смягчения последствий тяжелой аварии, например, средства удержания расплава активной зоны, устройства разбавления водорода или рекомбинаторы водорода, системы вентиляции защитной оболочки с фильтрацией;
- b) обеспечение внутреннего запаса прочности конструкций защитной оболочки или возможности удержания радиоактивных материалов внутри сооружения защитной оболочки, и использование для управления аварией оборудования, предусмотренного для других целей;
- c) руководящие материалы для операторов станции по управлению тяжелыми авариями.

2.3. Выполнение ВОБ уровня 2 представляет собой структурированный процесс, описанный в разделе 1 и изображенный на Рис. 1. Сфера охвата ВОБ уровня 2 определяется, исходя из ее предполагаемого использования и планов по проведению ВОБ уровня 3. Несмотря на наличие четко определенной базовой структуры и методик проведения ВОБ уровня 2, анализ в рамках ВОБ уровня 2 требует высокого уровня компетенции и технических ресурсов. Даже при наличии достаточных технических ресурсов, при проведении анализа защитной оболочки и параметров источника радиоактивных выбросов

приходится иметь дело со значительными неопределенностями, связанными с теми или иными явлениями.

2.4. Разное назначение предполагает различные акценты и требования к многообразным входным данным и компонентам ВОБ уровня 2. В начале проекта следует полностью определить требования к ВОБ уровня 2 и следует обеспечивать, чтобы пользователь или получатель ВОБ понимал эти требования и считал их реально осуществимыми.

2.5. Следует определить общие цели ВОБ уровня 2. К таковым могут относиться:

- a) достижение углубленного понимания процессов развития тяжелых аварий и поведения защитной оболочки;
- b) выявление специфических для станции проблем и чувствительности защитной оболочки к тяжелым авариям;
- c) предоставление исходной информации для снятия конкретных вопросов, вызывающих озабоченность регулирующего органа;
- d) предоставление входных данных для определения соответствия вероятностным целям безопасности или вероятностным критериям безопасности, если таковые были установлены. Обычно такие цели или критерии относятся к частоте крупных выбросов или к частоте крупных выбросов на ранней стадии аварии;
- e) определение основных режимов отказов защитной оболочки и их частот, а также оценка соответствующих частот и величины выбросов радионуклидов;
- f) предоставление входных данных для выработки стратегий по аварийному планированию за пределами площадки;
- g) оценка влияния различных неопределенностей, включая неопределенности в допущениях, касающихся каких-либо явлений, систем и моделирования;
- h) предоставление входных данных для выработки специфических для станции руководящих материалов и стратегий по управлению авариями;
- i) предоставление входных данных для определения специфических для станции вариантов снижения риска;
- j) предоставление входных данных для задания приоритетов научно-исследовательских работ по минимизации неопределенностей, значимых с точки зрения риска;
- k) предоставление входных данных для ВОБ уровня 3 в соответствии с задачами ВОБ;

- 1) предоставление входной информации для оценки воздействия станции на окружающую среду.

Для каждой из этих задач разные аспекты ВОБ уровня 2 имеют разную значимость. Поэтому задачи, отражающие специальное назначение и применение ВОБ уровня 2, следует четко указывать в самом начале проекта.

2.6. Модель ВОБ должна быть, по мере возможности, реалистичной. Следует обращать особое внимание на значимость ключевых неопределенностей, связанных с теми или иными явлениями. Следует проявлять осторожность во избежание искажения выводов ВОБ, получаемых в результате использования моделей и допущений, систематически смещенных в направлении некоторых конкретных исходов событий (часто это делается во имя консерватизма).

2.7. Следует отметить, что любые ограничения ВОБ уровня 1 переносятся на ВОБ уровня 2. Это следует учитывать при предполагаемом использовании ВОБ уровня 2.

СФЕРА ОХВАТА ВОБ УРОВНЯ 2

2.8. В пунктах 2.8-2.11 содержатся рекомендации по выполнению Требования 1 в отношении дифференцированного подхода и Требования 14 в отношении масштабов анализа безопасности при ВОБ уровня 2 [2]. При проведении ВОБ уровня 2, как правило, возникают два типа ситуаций. В первом случае ВОБ уровня 2 является частью интегрированной полномасштабной ВОБ. Во втором случае при проведении ВОБ уровня 2 стремятся продолжить существующий ВОБ уровня 1. Если ВОБ уровня 2 выполняется как часть интегрированного исследования, то требования ВОБ уровня 2 следует закладывать в ВОБ уровня 1, так чтобы все особенности станции, важные для анализа реакции защитной оболочки и параметров источников выброса, были учтены, насколько это возможно, в рамках ВОБ уровня 1. Если ВОБ уровня 2 выполняется после завершения ВОБ уровня 1, то может потребоваться некоторый дополнительный анализ систем. В любом случае при сопряжении моделей ВОБ уровня 1 и ВОБ уровня 2, обычно посредством задания и количественной оценки состояний повреждения станции, следует обеспечивать, чтобы ВОБ уровня 2 полностью учитывала начальные и граничные условия, установленные в модели ВОБ уровня 1, и зависимости между ВОБ уровня 1 и ВОБ уровня 2.

2.9. Если исходной точкой является существующая ВОБ уровня 1, то ее выходные данные не всегда могут охватывать явно те особенности, которые

следует учитывать в рамках ВОБ уровня 2. Так, если цель ВОБ уровня 1 заключалась в количественной оценке частоты повреждения активной зоны, то состояние защитной оболочки и систем безопасности защитной оболочки могут не всегда быть рассмотрены напрямую и потому должны рассматриваться как часть ВОБ уровня 2 или как часть процесса моделирования связи между ВОБ уровня 1 и ВОБ уровня 2 (например, задание состояний повреждения станции и их количественный анализ).

2.10. Если в сферу охвата ВОБ включены внутренние и внешние опасности (например, пожары, землетрясения), то их потенциальное влияние на функцию локализации и связанные с ними зависимые отказы следует учитывать в ВОБ уровня 2, если они не были учтены в выходных данных анализа уровня 1. Примеры таких зависимых отказов включают отказы в системе изоляции защитной оболочки в связи с пожаром на кабельной трассе, повреждение конструкций защитной оболочки в связи с сейсмическими событиями и т.п.

2.11. Наконец, при определении сферы охвата ВОБ уровня 2 следует учитывать входные требования к ВОБ уровня 3, если таковую предполагается проводить. Конечным продуктом ВОБ уровня 2 в таком случае является описание ряда проблем защитной оболочки, описание возможных реакций защитной оболочки и оценка последующих выбросов в окружающую среду и их частот. Описывается объем выбрасываемых в окружающую среду материалов, их физические и химические свойства и приводится информация о времени, энергии, длительности и месте выбросов.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТОМ ПО ВОБ

2.12. В пунктах 2.12-2.17 представлены рекомендации по выполнению Требования 5 публикации [2], касающегося подготовки к оценке безопасности для ВОБ уровня 2. Информация о решениях, принимаемых руководителями проекта по ВОБ, а также информация о контроле, координации и реализации различных задач содержится в пунктах 3.3-3.14 [4]. Эта информация применима также к ВОБ уровня 2 и не приводится повторно в рамках данного документа. Одной из задач управления проектом по ВОБ уровня 2 является обеспечение того, что в ВОБ на самом деле представлена станция в состоянии «как есть» и в максимально возможной степени отражена реальная практика эксплуатации, а также учтены последние разработки, касающиеся методов, моделей и данных.

2.13. В соответствии с требованиями, изложенными в [6], систему управления проектом следует осуществлять с надлежащим учетом последствий результатов

ВОБ уровня 2 для безопасности и ее предполагаемыми использованиями. В связи со сложностью явлений, рассматриваемых в ВОБ уровня 2, и связанными с ними неопределенностями, а также в связи с широким использованием для валидации экспертных оценок и вычислительных средств с ограниченными ресурсами, большую важность имеет создание соответствующей системы технического рассмотрения (в соответствии с Требованием 21 в[2] относительно независимой проверки). В частности, применение экспертных оценок следует обосновывать и регулировать в рамках контролируемого и документированного процесса. Руководителям проекта следует предусматривать надлежащие меры по введению процессов независимого рассмотрения или выполнению сравнительных исследований. Конкретные потребности, связанные с техническим рассмотрением соответствующих аспектов анализа, проектной документации и управления конфигурацией, описаны более подробно в разделах 3-7.

2.14. Для подготовки ВОБ уровня 2 требуется высокий уровень взаимодействия между аналитиками, работающими над данным анализом и являющимися специалистами в весьма разных областях. В проектной организации следует предусматривать рабочие механизмы, обеспечивающие четкое взаимодействие и связь между всеми членами группы, выполняющей анализ, включая руководителей проекта и аналитиков. Кроме того, еще одной задачей общего управления должно являться обеспечение того, что по мере проведения анализа и получения углубленного понимания будут, при необходимости, меняться подходы к различным техническим областям, что позволит обеспечить согласованное проведение анализа и достижение разумного баланса усилий, предпринимаемых во всех областях. Необходимость поддержания хорошего взаимодействия аналитиков на протяжении всего процесса ВОБ невозможно переоценить.

2.15. Управление проектом следует нацеливать на обеспечение того, чтобы все углубленные выводы относительно уязвимости станции и управления тяжелыми авариями, полученные в результате проведения анализа, были доведены до управленческого и эксплуатационного персонала станции, с тем чтобы эксплуатирующая организация в полной мере овладела ВОБ уровня 2, а также до регулирующего органа и прочих заинтересованных сторон.

ПОДБОР СПЕЦИАЛИСТОВ В ГРУППУ

2.16. При выборе группы для проведения ВОБ уровня 2 следует обеспечивать надлежащий уровень компетенции в следующих областях: (i) знание проекта и режимов эксплуатации станции; (ii) знание явлений тяжелых аварий и проблем защитной оболочки, (iii) знание методов ВОБ. Уровень компетенции группы может быть различным в зависимости от стадии жизненного цикла станции, на которой проводится ВОБ, от масштаба ВОБ и предполагаемых применений ВОБ, но при этом весьма важно широкое участие инженеров станции и персонала энергокомпании или проектировщиков, если анализ проводится на стадии проектирования, а также аналитиков, специализирующихся в области феноменологии аварий и других дисциплин ВОБ уровня 2.

2.17. При проведении ВОБ АЭС на стадии эксплуатации в группу ВОБ уровня 2 следует включать:

- a) *операторов и аналитиков по эксплуатации:* специалистов в области проектирования и эксплуатации станции и основных систем защитной оболочки, со знанием аварийных эксплуатационных процедур и руководящих принципов управления тяжелыми авариями;
- b) *специалистов-феноменологов:* специалистов в области явлений при тяжелых авариях, поведения защитной оболочки, неопределенностей, связанных с тяжелыми авариями, химических и физических процессов, которые приводят к развитию аварий, нагрузок защитной оболочки, выбросов радионуклидов, а также компьютерных кодов для анализа тяжелых аварий;
- c) *специалистов по строительному проектированию:* специалистов по расчету конструкций, запасам по давлению и режимам отказов защитной оболочки.
- d) *прочих специалистов в области ВОБ:* специалистов по анализу деревьев событий, анализу деревьев отказов, анализу надежности оператора, анализу неопределенностей, статистическим методам, процессам поиска экспертов и получения экспертных оценок, компьютерным кодам и ВОБ уровня 1.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АСПЕКТОВ ПРОЕКТА, ВАЖНЫХ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЙ, И СБОР ИНФОРМАЦИИ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АСПЕКТОВ ПРОЕКТА, ВАЖНЫХ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЙ

3.1. Данный раздел содержит рекомендации по выполнению Требований 6-13 публикации [2] в отношении ВОБ уровня 2. Прежде чем начать анализ, группе специалистов по проведению ВОБ уровня 2 следует ознакомиться с проектом и эксплуатацией станции. Это необходимо для определения и уточнения систем, конструкций, элементов и рабочих процедур станции, которые могут повлиять на развитие тяжелых аварий, реакцию защитной оболочки и перенос радиоактивных материалов в пределах защитной оболочки. К конструктивным особенностям, которые могут повлиять на развитие тяжелой аварии и, соответственно, на ВОБ уровня 2, относятся: системы воздушного охлаждения и системы орошения защитной оболочки и/или системы вентиляции защитной оболочки с фильтрацией и бассейны понижения давления. В процесс ознакомления следует включать здание реактора и/или здание обстройки и вторичную защитную оболочку или другие соответствующие здания и сооружения. Для существующих станций в ознакомление следует включать обход станции при участии эксплуатационного персонала и инженеров. К ознакомлению со станцией следует привлекать всех членов группы ВОБ уровня 2.

3.2. Следует идентифицировать и описывать все конструктивные особенности станции, которые могут повлиять на развитие тяжелой аварии. Примерами таких особенностей являются:

- а) зона под корпусом реактора, которая важна в плане поведения расплавленного материала активной зоны после его выхода из нижней части корпуса реактора, поскольку эта зона влияет на степень распространения расплава активной зоны и возможность его охлаждения;
- б) пути выхода из этой зоны под корпусом реактора в основной объем защитной оболочки. Ограничители потока или другие геометрические аспекты пути движения потока снижают степень распространения обломков разрушенной активной зоны после отказа нижней части. Это особенно важно в случае выброса расплава активной зоны под высоким давлением в легководном реакторе;

- с) секционированная конфигурация защитной оболочки, которая ограничивает степень смешивания горючих газов и их распространения в атмосфере защитной оболочки;
- д) конструктивные особенности, которые могут приводить к последовательностям с байпасом защитной оболочки.

Эти и другие конструктивные особенности станции следует выявлять с целью дальнейшего исследования.

3.3. Примеры основных конструктивных особенностей станции, которые представляют важность с точки зрения развития и смягчения тяжелых аварий, перечислены в таблице 1. Кроме конструктивных особенностей станции, следует учитывать соответствующие эксплуатационные процедуры и руководства по управлению тяжелыми авариями.

СБОР ИНФОРМАЦИИ, ВАЖНОЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЙ

3.4. В пунктах 3.4-3.6 представлены рекомендации по выполнению Требования 19 публикации [2], касающегося использования опыта эксплуатации в ВОБ уровня 2. После того, как группа ВОБ выработала общее понимание конструкции и особенностей станции, которые могут влиять на тяжелые аварии и выбросы радиоактивных материалов, ей следует провести сбор и организацию количественных данных, которые необходимы для анализа конкретной станции. Данные, требующиеся для ВОБ, зависят частично от объема анализов и характера вычислительных средств. Например, объем и тип собранных входных данных могут зависеть от конкретной компьютерной модели станции, используемой для расчета развития аварии. Для модельных расчетов поведения защитной оболочки конкретной станции, если такие расчеты необходимы в соответствии с рамками анализа поведения защитной оболочки, требуется провести сбор детальных данных, касающихся архитектуры и конструкции защитной оболочки.

3.5. Данные следует получать из компетентных источников, таких как:

- а) проектная и/или лицензионная документация станции;
- б) исполнительные чертежи;
- с) процедуры эксплуатации, обслуживания или испытаний конкретной станции;
- д) инженерные расчеты или аналитические доклады;
- е) наблюдения при обходах станции;

- f) строительные стандарты;
- g) руководства поставщиков.

Ссылки на источник(и) данных следует фиксировать в документации по ВОБ.

ТАБЛИЦА 1 ПРИМЕРЫ ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ СТАНЦИИ И/ИЛИ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ

Основные конструктивные особенности станции и/или защитной оболочки	Замечания
РЕАКТОР	
Тип реактора	Кипящий реактор, реактор с водой под давлением, усовершенствованный газоохлаждаемый реактор, или иной тип
Уровень мощности	Общая тепловая мощность в установившемся режиме
Тип топливной смеси/тип оболочки твэлов	Оксид, смешанное топливо/циркалой, нержавеющая сталь
АКТИВНАЯ ЗОНА	
Масса топлива и масса оболочки твэлов	Фактические эксплуатационные значения
Геометрия тепловыделяющих сборок	Фактические эксплуатационные значения
Тип и масса регулирующих стержней	Фактические эксплуатационные значения
Пространственное распределение мощности реактора	Типичные осевые и радиальные коэффициенты неравномерности энерговыделения
Остаточное тепловыделение	Общий уровень остаточного тепловыделения как функция времени
Запас радиоактивных материалов	Полный запас радионуклидов в активной зоне
СИСТЕМА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ РЕАКТОРА	
Типы теплоносителя и замедлителя	Вода, тяжелая вода, CO ² , гелий, другие
Объем теплоносителя/замедлителя системы охлаждения реактора	В соответствии с проектом и в фактическом исполнении
Уставка давления и объема гидроемкости	Фактические эксплуатационные значения
Устройства и процедуры снижения давления в системе теплоносителя реактора	Указать уставки и процедуры
Возможность разгрузки давления	Фактические эксплуатационные значения
Изоляция гермопроходок, соединенных с системой теплоносителя реактора	Возможность байпаса защитной оболочки
ЗАЩИТНАЯ ОБОЛОЧКА^a	
Геометрия защитной оболочки	Форма и разделение внутренних объемов
Свободный объем защитной оболочки	В заводском исполнении, с учетом замещения объема конструкциями

ТАБЛИЦА 1 ПРИМЕРЫ ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ СТАНЦИИ И/ИЛИ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ (продолж.)

Основные конструктивные особенности станции и/или защитной оболочки	Замечания
Расчетное давление и температура защитной оболочки	Для ВОО требуется реальная оценка максимального запаса
Материал конструкции защитной оболочки	Сталь, бетон, другое
Рабочее давление и температура	Фактические эксплуатационные значения
Механизмы контроля водорода	Обеспечение инертности, дожигатели, пассивные рекомбинационные установки, другое
Объем бассейна понижения давления	Объемы воды и атмосферы
Производительность и уставки охладителя защитной оболочки	Фактические эксплуатационные значения
Заполнитель бетона	Указать химический состав
Конструкция шахты, выемки или основания	Рассеивающая или нерассеивающая
Возможность затопления шахты или основания	Затопляемая или сухая
Приямок (приямки), объемные фильтры и местоположение	Геометрические данные, определение материалов (окраска, изоляция труб и т.п.), потенциально влияющих на засорение фильтра приямка.
Близость границ защитной оболочки	Расстояние от корпуса реактора и от шахты или основания
Процедура и расположение вентиляции защитной оболочки	Расположение вентиляционного канала и процедура включения
Реакция на внешние опасности	Повреждение конструкции в связи с сейсмическими событиями или наводнением
Вероятность отказа изоляции защитной оболочки	Расположение проходок и надежность материалов уплотнения для изоляции защитной оболочки
Возможность охлаждения расплава активной зоны	Конструкция станций с реакторами Поколения III+ включает некоторые функции охлаждения распространяющегося расплава активной зоны

^a Представленная здесь конкретная информация может отличаться для некоторых зон на станциях без защитной оболочки, удерживающей давление (например, для станций с сооружениями, обеспечивающими функцию локализации, потребуется включить в рассмотрение номинальную скорость течи).

ТАБЛИЦА 2. ПРИМЕРЫ СРАВНЕНИЯ ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАНЦИИ И ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ

Параметр и конструктивная особенность	Значимость или возможность сравнения
Соотношение мощности реактора и объема системы теплоносителя реактора	Время развития аварии, время для восстановительных действий
Соотношение мощности реактора и объема защитной оболочки	Масштабирование нагрузок защитной оболочки
Соотношение массы циркония (Zr) и свободного объема защитной оболочки	Возможность воспламенения и масштабирование нагрузок защитной оболочки
Направления потока из полости под реактором в защитную оболочку	Возможность рассеивания и выброса расплава под высоким давлением
Заполнитель бетона	Образование неконденсируемых газов и высвобождение радиоактивных материалов при взаимодействии расплава активной зоны с бетоном

3.6. Если при проведении ВОБ уровня 2 предполагается использовать данные базисной станции, то следует провести сравнение данных анализируемой и базисной станций. Такое сравнение имеет большую важность для определения того, являются ли эти две станции в действительности аналогичными, и будут ли они с большой вероятностью иметь аналогичные уязвимости. В таблице 2 перечислены примеры конструктивных особенностей станции и защитной оболочки для сравнения с соответствующими особенностями других станций. Однако, делая выводы из такого сравнения, следует соблюдать особую осторожность.

4. СВЯЗЬ С ВОБ УРОВНЯ 1: ГРУППИРОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

4.1. Данный раздел содержит рекомендации относительно связи между ВОБ уровня 2 и ВОБ уровня 1. В нем рассматривается анализ результатов и информации ВОБ уровня 1, который требуется проводить для получения входных данных для ВОБ уровня 2. Если ВОБ уровня 2 выполняется как часть интегрированного проекта ВОБ, включающего ВОБ уровня 1 и ВОБ уровня 2, то в определении четкой связи между этими двумя уровнями нет необходимости.

4.2. При ВОБ уровня 1 определяется большое количество аварийных последовательностей, приводящих к повреждению активной зоны. Нет никакой

необходимости, да и непрактично, особенно в случае ВОБ для условий работы на полной мощности, рассматривать каждую аварийную последовательность в отдельности при оценке развития аварии, реакции защитной оболочки и выбросов радионуклидов в рамках ВОБ уровня 2. Аварийные последовательности следует группировать по состояниям повреждения станции таким образом, чтобы все аварии в рамках заданного состояния можно было рассматривать единообразно при проведении ВОБ уровня 2. При необходимости, модели аварийных последовательностей в ВОБ уровня 1 следует корректировать с целью учета конкретных потребностей ВОБ уровня 2. Состояния повреждения станции должны быть репрезентативными для групп аварийных последовательностей, которые имеют аналогичные временные рамки и создают аналогичные нагрузки на защитную оболочку, что в итоге приводит к аналогичному развитию событий и аналогичным радиологическим параметрам источника выброса. Следует устанавливать атрибуты развития аварии, которые влияют на хронологию аварии, реакцию защитной оболочки или выбросы радиоактивных материалов в окружающую среду. Эти атрибуты состояний повреждения станции задают граничные условия для проведения анализа тяжелой аварии.

СОСТОЯНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЯ СТАНЦИИ ПРИ ВОБ ДЛЯ ВНУТРЕННИХ ИСХОДНЫХ СОБЫТИЙ В УСЛОВИЯХ РАБОТЫ НА ПОЛНОЙ МОЩНОСТИ

4.3. В общем случае состояния повреждения станции можно разделить на два основных класса: состояния, при которых происходит выброс радиоактивных материалов из системы теплоносителя реактора в защитную оболочку, и состояния, характеризующиеся байпасом или неэффективностью защитной оболочки. Таким образом, в состояниях повреждения станции следует указывать состояние защитной оболочки (например, неповрежденная и изолированная, неповрежденная и не изолированная, отказавшая или в состоянии байпаса), а для состояний повреждения станции, при которых происходит байпас защитной оболочки, следует указывать тип и размер байпаса (например, авария с потерей теплоносителя в смежных системах, разрыв труб парогенератора). Если здание реактора или вторичная защитная оболочка может оказывать существенное влияние на параметры источника выбросов, то следует определять его состояние, исходя из состояния повреждения станции. Для состояний повреждения станции, в которых защитная оболочка остается неповрежденной, следует проводить анализ дерева событий защитной оболочки. Для других состояний повреждения станции может потребоваться только анализ параметров источника выбросов, хотя, возможно, дерево событий

защитной оболочки потребуется для учета возможных конструктивных особенностей станции, которые могут снизить параметры источника выбросов (например, очищенные выбросы по сравнению с неочищенными).

4.4. В следующих подразделах представлены примеры атрибутов, которые, возможно, потребуется учитывать при определении этих двух классов состояний повреждения станции. Примеры таких атрибутов приведены в таблице 3.

ТАБЛИЦА 3. ПРИМЕРЫ АТТРИБУТОВ СОСТОЯНИЙ ПОВРЕЖДЕНИЯ СТАНЦИИ

Исходное событие	Авария с большой потерей теплоносителя Авария с низкой потерей теплоносителя Застревание предохранительного или перепускного клапана в открытом положении Переходной процесс Событие с байпасом (авария с потерей теплоносителя в смежной системе или разрыв труб парогенератора)
Давление в системе теплоносителя реактора при повреждении активной зоны	Высокое (проблема с предохранительными клапанами) Среднее (выше напора для впрыска теплоносителя низкого давления) Низкое (включая метод сброса давления)
Состояние систем аварийного расхолаживания и прочих систем охлаждения (динамика повреждения активной зоны)	Ни один из впрысков не начался (отсутствие впрыска, повреждение на ранней стадии) Впрыск теплоносителя сначала успешный, но затем происходит отказ рециркуляционного охлаждения (повреждение активной зоны на поздней стадии) Функциональность аварийного охлаждения активной зоны после повреждения активной зоны или разрыва корпуса реактора Наличие охлаждения парогенератора
Состояние технических средств обеспечения безопасности защитной оболочки	Устройства орошения (если есть): — работают постоянно — отказ срабатывания по команде включения — первоначально работают, затем отказ при переключении на рециркуляционное охлаждение Бассейн понижения давления (если есть): — работает постоянно — не работает (дренаж бассейна или байпас на ранней стадии) — байпас на поздней стадии Охладители с вентиляторами (если предусмотрены): — работают все время — отказ срабатывания по команде включения — отказ на поздней стадии

ТАБЛИЦА 3. ПРИМЕРЫ АТРИБУТОВ СОСТОЯНИЙ ПОВРЕЖДЕНИЯ СТАНЦИИ (продолж.)

	Системы вентиляции: — работают все время — отказ срабатывания по команде включения — отказ на поздней стадии
Состояние защитной оболочки	Неповрежденная и изолированная в начале повреждения активной зоны Неповрежденная, но не изолированная в начале повреждения активной зоны Отказ конструкции или большая течь (с указанием размера и местонахождения течи) ^а
Состояние вторичной защитной оболочки (здание реактора или здание обстройки)	Неповрежденная и изолированная в начале повреждения активной зоны Неповрежденная, но не изолированная в начале повреждения активной зоны Отказ конструкции или большая течь ^а

^а Включая любые внешние события, которые могут вызвать повреждение конструкций защитной оболочки.

Состояния повреждения станции, не вызванные байпасом защитной оболочки

4.5. При задании состояний повреждения станции, которые не вызваны байпасом защитной оболочки, следует учитывать отказы оборудования и систем, установленные в рамках ВОБ уровня 1, которые могут приводить к угрозе для защитной оболочки или к выбросу радиоактивных материалов. Аспекты, которые следует принимать во внимание, включают:

- тип исходного события, которое может, например, повлиять на скорость сброса текучей среды в защитную оболочку, развитие расплава и образование водорода и на динамику выбросов радиоактивных материалов;
- режим отказа функции охлаждения активной зоны, который может повлиять на динамику расплава активной зоны;
- степень повреждения топлива;
- давление в контуре реактора в начале повреждения активной зоны и состояние предохранительных или перепускных клапанов и других компонентов, которые могут изменить давление в корпусе реактора до того, как произойдет отказ нижней части корпуса реактора. Представляет важность давление в корпусе реактора в момент отказа нижней части, поскольку это может повлиять на режим выброса обломков в защитную оболочку. Это, в свою очередь, может создать риск нарушения целостности

защитной оболочки, если, например, произойдет выброс расплава под высоким давлением и прямое нагревание защитной оболочки. Давление в корпусе реактора после начала повреждения активной зоны также влияет на вероятность отказа системы охлаждения реактора, вызванного температурой и давлением (например, повреждение трубопровода и труб парогенератора при длительных нагрузках или термическое заедание предохранительного или перепускного клапана в открытом положении). Значение давления будет определяться исходным событием и функциональностью любой из систем снижения давления.

4.6. Состояние технических средств обеспечения безопасности защитной оболочки³ имеет большое значение при определении реакции защитной оболочки, и такие средства безопасности следует учитывать при группировании аварийных последовательностей по состояниям повреждения станции, поскольку они могут влиять на охлаждение защитной оболочки, удаление радиоактивных материалов, смешивание присутствующих горючих газов и т.п. Другие атрибуты состояний повреждения станции могут иметь значение для некоторых применений ВОБ. Например, если ВОБ используется в поддержку определения мер управления аварией, то следует учитывать состояние источника энергоснабжения, поскольку такая информация может потребоваться для некоторых более поздних действий. Подробности того, как учитываются эти характеристики, могут зависеть от методологии, используемой для связывания ВОБ уровня 1 с ВОБ уровня 2, хотя эти вопросы следует рассматривать независимо от применяемой методологии.

Состояния повреждения станции с байпасом защитной оболочки

4.7. Для состояний повреждения станции с байпасом защитной оболочки основное внимание следует уделять идентификации атрибутов, связанных с понижением концентраций радиоактивных материалов на протяжении всего пути выброса или влияющих на динамику выбросов. При этом следует учитывать тип исходного события, состояние системы аварийного охлаждения активной зоны (включая время отказа), а также возможна ли изоляция пути утечки спустя некоторое время, проходит ли он через воду (например, в случае содержимого парогенератора или затопленного здания). Что касается утечек в здание обстройки или иное эквивалентное здание, то в этом случае следует обращать внимание на следующие вещи, которые могут иметь важное значение:

³ Атрибуты, перечисленные в таблице 3, следует, при необходимости, подстраивать под определенные станции с сооружениями, которые обеспечивают функцию локализации, а не функцию удержания давления.

состояние аварийных систем вытяжной вентиляции с фильтрацией, систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, а также – находится ли течь под водой.

Окончательный выбор состояний повреждения станции

4.8. Если в результате учета всех факторов и параметров, которые влияют на ВОБ уровня 2, получается слишком большое число вероятных состояний повреждения станции, то их следует сократить до регулируемого числа. Можно использовать два подхода. Первый подход состоит в комбинировании состояний повреждения станции и проведении граничного анализа для выбора репрезентативной последовательности, характеризующей состояние повреждения станции для целей ВОБ уровня 2. Второй подход заключается в использовании метода отсечки по частоте как средства отсеивания наименее важных состояний повреждения станции. Требуется проведение тщательного отбора еще до введения критерия «отсечки по частоте» на уровне состояния повреждения станции. Это особенно важно, когда речь идет о состояниях повреждения, которые связаны с крупными выбросами радионуклидов в окружающую среду на ранней стадии аварии. В любом случае в процессе выбора следует обращать внимание на степень вариабельности и неопределенности, вводимой в ВОБ уровня 2 при группировании аварийных последовательностей по состояниям повреждения станции, и учитывать то, как это повлияет на конкретные цели ВОБ.

СОСТОЯНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЯ СТАНЦИИ ДЛЯ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ВОБ УРОВНЯ 1

4.9. Если ВОБ уровня 2 является продолжением ВОБ уровня 1, в ходе которой не ставилась цель проведения ВОБ уровня 2 или 3, то маловероятно, что в рамках ВОБ уровня 1 учитываются конкретные аспекты, связанные с описанием состояний повреждения станции. Например, в рамках ВОБ уровня 1 не всегда рассматривается состояние систем защитной оболочки или других систем, которые не влияют непосредственно на определение поврежденного состояния активной зоны (т.е. не являются вкладчиками в критерии успешного предотвращения повреждения активной зоны). В таких случаях ВОБ уровня 1 следует расширить, с тем чтобы учесть эти отсутствующие аспекты при определении состояний повреждения активной зоны (см. таблицу 3). Одним из методов включения подобных неучтенных систем в ВОБ является разработка дерева горизонтальных связей, которое обеспечивает связь с моделями систем

ВОБ уровня 1, как показано на рис. 1, охватывая при этом важные зависимости (вспомогательные системы, действия операторов и т.п.)

РАСШИРЕНИЕ СФЕРЫ ОХВАТА ВОБ УРОВНЯ 2 ЗА СЧЕТ ВКЛЮЧЕНИЯ ДРУГИХ ИСХОДНЫХ СОБЫТИЙ

4.10. Для того, чтобы расширить сферу охвата ВОБ уровня 2 за счет включения внутренних и внешних опасностей, следует учитывать их влияние на системы, необходимые для смягчения тяжелых аварий, включая системы поддержки действий оператора, и на целостность защитной оболочки. В некоторых случаях это приводит к заданию нового набора четко определенных состояний повреждения станции; примером является случай землетрясения, которое потенциально может вызвать отказ защитной оболочки. Системному аналитику следует учитывать необходимость ввода новых состояний повреждения станции и возможность включения новых состояний повреждения станции в существующие состояния; например, некоторые отказы защитной оболочки можно включить в набор отказов изоляции защитной оболочки.

РАСШИРЕНИЕ СФЕРЫ ОХВАТА ВОБ УРОВНЯ 2 ЗА СЧЕТ ВКЛЮЧЕНИЯ ДРУГИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НА МОЩНОСТИ

4.11. Отличия в ВОБ уровня 2, касающиеся режима эксплуатации и уровня мощности в момент возникновения исходного события, могут возникать в связи с отличиями в содержимом первого контура и защитной оболочки и их состоянии. Состояния повреждения станции, определенные для режимов полной мощности, следует использовать с осторожностью для режимов низкой мощности и останова, когда защитная оболочка может быть вскрыта или инертная среда в ней снята; прямое применение состояний повреждения станции, установленных при ВОБ уровня 2 для режимов полной мощности, не всегда возможно. Уникальные условия, связанные с режимами низкой мощности и останова, в общем случае требуют определения дополнительных атрибутов, не применимых к режиму работы на полной мощности.

4.12. Для режимов низкой мощности и останова следует определять дополнительные состояния повреждения станции, если существуют значимые отличия, которые могут существенно повлиять на поведение станции при тяжелых авариях, или если существуют другие причины для более точного воспроизведения определенных состояний. Для реакторов с водой под давлением можно привести несколько примеров: работу на среднем контуре

при низком запасе теплоносителя в первом контуре, или ситуации со вскрытым первым контуром (например, при удаленной крышке или в ходе перегрузки топлива), либо с неизолированной защитной оболочкой (например, во время некоторых операций по перегрузке топлива). Поэтому к дополнительным атрибутам, которые можно учитывать в спецификации состояний повреждения станции для режимов низкой мощности и останова, относятся состояние защитной оболочки и уровень теплоносителя.

5. АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ АВАРИИ И АНАЛИЗ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ⁴

АНАЛИЗ ПОВЕДЕНИЯ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ ВО ВРЕМЯ ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЙ

5.1. В данном разделе предполагается наличие определенного типа пассивной конструкции, способной выдерживать некоторые из условий, возникающих после серьезного повреждения активной зоны реактора, тем самым удерживая большую часть радиоактивных материалов. Наиболее распространенным вариантом такой пассивной конструкции во многих проектах станций является сооружение защитной оболочки, в составе которого имеются соответствующие системы защитной оболочки. Если такая конструкция не существует, то анализ, описанный ниже, не применим в полной мере.

5.2. Первичной задачей оценки поведения защитной оболочки является реалистичное определение характеристик режимов (механизмов) и критериев течей или отказа защитной оболочки в условиях тяжелой аварии. Проектные критерии для защитной оболочки обычно не являются количественной мерой запаса прочности защитной оболочки, поскольку эти значения содержат коэффициент безопасности. Иногда выясняется, что фактические значения предельного давления защитной оболочки превышают проектные значения в два-четыре раза. Более того, в проектных пределах для защитной оболочки могут не быть учтены тяжелые окружающие условия, которые могут сформироваться внутри защитной оболочки в ходе тяжелой аварии, что часто требует рассмотрения совершенно новых режимов отказа.

⁴ В данном разделе рассматриваются несколько основных частей ВОБ уровня 2. Порядок, в котором они представлены, не указывает на их относительную важность или на порядок, в котором их следует выполнять в рамках проекта по ВОБ.

5.3. Для проведения реалистичной оценки пределов функционирования защитной оболочки следует собрать подробные сведения о конструкции защитной оболочки и гермопроходов (см. таблицу 4). При сборе информации для анализа особое внимание следует обращать на вероятность течи через стальную облицовку или проходки.

5.4. Цель данного этапа ВОБ уровня 2 заключается в проведении оценки предела прочности защитной оболочки для конкретной станции. Это можно выполнить с помощью расчетов конструкций, учитывающих специфику станции. В то же время, в зависимости от сферы охвата анализа ВОБ уровня 2, можно использовать существующие расчеты для станций, имеющих защитную оболочку аналогичной конструкции. В этом случае документация по ВОБ должна включать подробное обоснование использования существующих расчетов путем демонстрации сходства конструкций и применимости имеющегося анализа реакции конструкции к рассматриваемой станции.

5.5. В исследованиях ВОБ для описания потери целостности защитной оболочки использовались два подхода, а именно, «пороговая» модель и модель «течи перед разрушением». В пороговой модели задается пороговое давление, с некоторыми соответствующими неопределенностями, при котором ожидается отказ защитной оболочки с большим разрывом и с вероятностью значительного

ТАБЛИЦА 4. ПРИМЕРЫ ВАЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ И ГЕРМОПРОХОДОВ

Тип защитной оболочки	Сталь Бетон: - предварительно напряженный - с последующим натяжением арматуры - армированный
Гермопроходки	Люк(и) оборудования Люк(и) для персонала Трубные проходки Электрические проходки Атмосферный(е) продувочный(е) трубопровод(ы) Вентиляционный(е) канал(ы)
Прочие аспекты	Геометрическая форма защитной оболочки (шар, цилиндр, прямоугольная) Геометрические неоднородности, например, переход от цилиндрического кожуха к верхней крышке и плите основания Анкерные крепления облицовки Взаимодействия с другими окружающими конструкциями

и быстрого истечения атмосферы защитной оболочки в окружающую среду. В модели течи перед разрушением предполагается течь из защитной оболочки, предшествующая крупному разрыву. В общем случае течь начинается при давлениях ниже предельного давления и постепенно увеличивается по мере приближения к предельному давлению – точки, в которой ожидается более существенное повреждение защитной оболочки. Более того, если скорость добавления массы и энергии в атмосферу защитной оболочки меньше или равна скорости течи, то повышения давления в защитной оболочке не произойдет, и серьезное повреждение защитной оболочки может быть предотвращено.

5.6. Если необходимо проводить расчеты, учитывающие специфику данной станции, то анализы поведения защитной оболочки следует основывать на прошедших валидацию моделях конструкций, подкрепленных данными и разумными критериями отказов. При проведении анализа следует обращать внимание на различные аспекты нагружения защитной оболочки, например, на статические нагрузки, вызванные давлением, скорости изменения давления, локальные тепловые нагрузки и локальные динамические нагрузки. Вспомогательный анализ обеспечивает инженерные обоснования размера, расположения, режима отказа защитной оболочки, а также предельных значений давления и/или температуры, которые она способна выдержать.

5.7. Поскольку нагружение внутренним давлением является главным определяющим фактором потенциального отказа защитной оболочки, при проведении ВОБ уровня 2 следует также учитывать возможное влияние температуры на конструктивные характеристики защитной оболочки. Температура защитной оболочки может влиять на прочностные характеристики материалов конструкции и вызывать ухудшение свойств материалов изоляции проходов.

5.8. При определении конструктивных характеристик защитной оболочки следует также анализировать неопределенности, связанные с оценкой конструктивных запасов, необходимых для выдерживания экстремального давления и/или температуры. К таким неопределенностям могут быть применимы методы количественной оценки и переноса неопределенностей в качестве части анализа прочности конструкции. Как альтернативный вариант, для определения разрушающего давления и/или распределения температуры для различных вероятных режимов отказа (течи и разрывы) можно использовать экспертную оценку, подтвержденную простым анализом. При оценке неопределенностей и моделировании переноса неопределенностей следует учитывать неопределенности в свойствах материалах и в моделировании (например, в критериях, используемых для определения «отказа»).

5.9. Следует анализировать влияние обширной эрозии бетонных конструкций в результате длительного воздействия расплава обломков активной зоны (взаимодействие бетона с расплавом активной зоны). Например, необходимо анализировать реакцию опорной конструкции корпуса реактора (например, бетонной опоры), стенки или пола защитной оболочки на полное или частичное проникновение обломков активной зоны, если расчеты развития тяжелой аварии дают основание допускать возможность таких уровней эрозии.

5.10. Следует определять и исследовать возможные расположения мест проплавления защитной оболочки (например, проходки, всасывающего тракта прямка).

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЙ

5.11. Анализ развития аварий, учитывающий специфику станции, является предпочтительным методом оценки протекания тяжелой аварии. Расчеты, как минимум, следует проводить для каждого состояния повреждения станции, вносящего существенный вклад в частоту повреждения активной зоны станции. Кроме того, можно провести расчеты для тех состояний повреждения станции, которые характеризуются низкой частотой возникновения, но которые могут приводить к крупным и/или ранним выбросам радиоактивных материалов в окружающую среду. Такие состояния повреждения станции обычно являются следствием либо прямого байпаса защитной оболочки, либо раннего отказа первичной и/или вторичной защитной оболочки. При выполнении подробных расчетов состояний повреждения станции с высокой вероятностью возникновения и серьезными последствиями обычно формируется большой объем информации, пригодный для оценки реакции станции на другие состояния повреждения, которые подробно не рассматриваются. Кроме того, для дополнения объема специфических для станции расчетов можно использовать типовые исследования явлений тяжелых аварий и реакции защитной оболочки, описанные в справочной литературе по аналогичным станциям и защитным оболочкам, что позволит включить более широкий набор условий.

5.12. Менее строгий и менее целесообразный подход, применение которого, однако, порой бывает необходимым, состоит в адаптации результатов анализов, выполненных для одной или нескольких базисных станций аналогичной конструкции. Такой подход следует применять, только проявляя особую осторожность. В подобных обстоятельствах неопределенности, связанные с развитием тяжелых аварий, могут перевешивать различия в проектных характеристиках станции. Небольшие различия в конструктивных особенностях

можно компенсировать посредством соответствующего масштабирования анализа базисных станций с учетом основных проектных атрибутов. Такой подход более всего соответствует тем случаям, когда специальный анализ основных явлений уже выполнен для некой базисной станции, и желательно использовать углубленные выводы из базисного анализа для дополнения расчетов, учитывающих специфику анализируемой станции. Например, в таком анализе для одной станции могло учитываться какое-либо явление аварии, которое не моделируется детально при использовании типовых компьютерных кодов для моделирования тяжелых аварий, и в таком случае масштабирование или адаптирование существующего базисного анализа позволяет получить полезные дополнительные входные данные для оценки конкретной станции.

5.13. Анализ развития тяжелых аварий следует проводить с использованием одного или нескольких компьютерных кодов, моделирующих тяжелые аварии (см. Приложение II). Компьютерный код (или коды), выбранный для проведения детального анализа, и количество расчетов, которые следует провести, зависят от цели ВОБ. Ниже приведены аспекты, которые следует учитывать при принятии таких решений:

- a) код(ы) должен(должны) быть рассчитан(ы) на моделирование большинства событий и явлений, которые могут возникнуть в ходе аварии;
- b) в компьютерном коде следует корректно отражать взаимодействия между различными физико-химическими процессами;
- c) работы по валидации и сравнительному анализу и соответствующая документация следует предусматривать в достаточном объеме;
- d) требования ко времени расчетов и вычислительным ресурсам должны быть разумными.

Аналитики должны быть осведомлены о технических ограничениях и слабых сторонах выбранного кода (кодов). Анализ тяжелых аварий должен охватывать все последовательности, ведущие либо к удовлетворительному стабильному состоянию, при котором системы безопасности работают корректно, так что выполняются все функции безопасности, необходимые в случае возникновения данного состояния повреждения станции, либо к состоянию отказа защитной оболочки.

5.14. Анализ чувствительности следует проводить для понимания того, как различные варианты моделирования в том или ином коде влияют на расчетные результаты. Известные области, вносящие неопределенности в моделирование,

и возможные последствия таковых для моделирования развития тяжелых аварий перечислены в таблице 5.

5.15. Требуется проводить оценку основных вычисленных переменных (таких как пиковые значения давления и температуры, масса образуемых горючих газов, временное распределение важных событий) и фиксировать их документально для использования в моделях для количественной оценки развития аварии (дерево событий защитной оболочки), см. пункты 5.16-5.31. Основные переменные обычно регистрируются в важных временных точках и записываются в виде графиков временных зависимостей для детального исследования. Отображаемые результаты следует дополнять четкими обсуждениями в документации по ВОБ.

ТАБЛИЦА 5. ПРИМЕРЫ ОБЛАСТЕЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ, СВЯЗАННЫХ С РАЗВИТИЕМ ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЙ

Тип события при тяжелой аварии	Связанные явления
Образование водорода внутри корпуса	Образование блокад потока в активной зоне Распухание оболочки твэлов Восстановление и добавление воды Перемещение расплавленного топлива
Естественная циркуляция внутри корпуса реактора	Циркуляционные потоки в петлях системы охлаждения реактора Нагрев и разрушение при длительных нагрузках (эффекты ползучести) границы давления системы теплоносителя реактора (патрубок горячей нитки, линия помпажа компенсатора давления и трубы парогенератора) Конкурирующие механизмы деградации и отказа уплотнения главного циркуляционного насоса
Взаимодействие (энергетическое и неэнергетическое) теплоносителя с топливом внутри корпуса реактора	Вероятность прекращения повреждения внутрикорпусных топливных элементов Восстановление критичности Повреждение взрывом корпуса реактора Выбросы радиоактивных материалов
Механизмы повреждения корпуса реактора	Проникновение и охлаждение расплава в проходках крышки Локальный отказ нижней части корпуса реактора Глобальный отказ (за счет ползучести) корпуса реактора

ТАБЛИЦА 5. ПРИМЕРЫ ОБЛАСТЕЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ, СВЯЗАННЫХ С РАЗВИТИЕМ ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЙ (продолж.)

Тип события при тяжелой аварии	Связанные явления
Выброс расплава под высоким давлением и/или прямой нагрев защитной оболочки	Улавливание обломков на конструкциях защитной оболочки Выделение тепла при образовании водорода в реакции окисления циркония Перемещение обломков за пределы реакторной шахты и/или основания Воспламенение водорода Выбросы радиоактивных материалов
Взаимодействия теплоносителя с топливом вне корпуса (энергетические и неэнергетические)	Фрагментация и закалка (охлаждение) обломков Квазистатическое увеличение давления в защитной оболочке (пиковые выбросы пара) Динамические нагрузки на защитную оболочку от взрыва пара Выбросы радиоактивных материалов
Взаимодействие бетона с активной зоной	Эрозия конструкций защитной оболочки в результате воздействия обломков Образование неконденсируемых газов Поперечное распространение обломков и возможность контакта с границей давления защитной оболочки Выбросы радиоактивных материалов
Воспламенение водорода	Смешивание и/или расслоение в атмосфере Образование инертной среды за счет пара Распространение пламени при воспламенении и дефлаграции Скорость распространения пламени и переход от дефлаграции к детонации Воспламенение и детонация Теплопотери на конструкциях Реакция локализирующего сооружения на волну давления при воспламенении (открывание дверей или вышибание панелей, вытеснение воды из бассейнов и т.п.)

РАЗРАБОТКА И КВАНТИФИКАЦИЯ ДЕРЕВЬЕВ СОБЫТИЙ ПРИ РАЗВИТИИ АВАРИИ ИЛИ ДЕРЕВЬЕВ СОБЫТИЙ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ

5.16. В рамках ВОБ уровня 2 деревья событий используются для разграничения последовательностей событий и явлений, связанных с тяжелыми авариями, после начала повреждения активной зоны, которое негативно воздействует на последовательные барьеры против выбросов радиоактивных материалов.

Они обеспечивают структурированный подход к систематической оценке способности станции справиться с тяжелой аварией. То, как используются деревья событий, показано на рис. 1. Подобные деревья событий именуются деревьями событий при развитии аварии или деревьями событий защитной оболочки. Термин «дерево событий защитной оболочки» принят в большинстве ВОБ уровня 2, тогда как «дерево событий при развитии аварии», подразумевающее больший объем моделирования, используется не так часто. В данном руководстве по безопасности используется термин «дерево событий защитной оболочки».

Структура деревьев событий защитной оболочки и узловые вопросы

5.17. Основные события или узловые вопросы в дереве событий защитной оболочки должны касаться событий и физических процессов, которые влияют на хронологию аварии, реакции станции на запроектные условия, соответствующих рисков для барьеров против выбросов радиоактивных материалов и окончательной величины выбросов радиоактивных материалов в окружающую среду. Узловые вопросы дерева событий защитной оболочки должны охватывать также аспекты и действия, связанные с управлением тяжелой аварией (см. также пункты 5.19 и 5.20). Узловые вопросы дерева событий защитной оболочки тесно связаны с типом станции, т.е. вопросы, важные для протекания тяжелой аварии в одном типе реактора и/или системы защитной оболочки, могут не быть важными для других реакторов.

5.18. Перечень таких событий и процессов может быть достаточно обширным. Поэтому деревья событий защитной оболочки могут перерастать в довольно крупные и логически сложные модели. Однако вполне достаточными для определенных применений могут оказаться относительно простые логические модели. Например, если цель ВОБ уровня 2 состоит исключительно в определении частоты крупных выбросов на ранней стадии аварии, а количественная оценка всего спектра параметров источника выбросов при тяжелой аварии не требуется, то могут быть разработаны менее сложные по структуре деревья событий защитной оболочки, в которых внимание сфокусировано на последовательностях тяжелых аварий с серьезными последствиями, происходящими в определенных временных рамках. В любом случае вся структура модели должна быть прослеживаемой, чтобы ее могли проанализировать независимые эксперты, и легко управляемой группой по ВОБ. Поэтому при формировании структуры дерева событий защитной оболочки следует стремиться к достижению разумного баланса между степенью детализации моделирования и её практическим размером.

5.19. Структура дерева событий защитной оболочки должна быть хронологически корректной, должна учитывать взаимосвязи между событиями и/или явлениями и отражать соответствующий уровень детализации в соответствии с целями ВОБ уровня 2. Что касается хронологии, то полезно и широко принято разделять дерево событий на стадии, последовательные по времени, с переходами между стадиями, представляющими собой важные изменения в аспектах, определяющих развитие аварии, например:

- a) стадия 1: немедленная реакция станции на состояние повреждения, вызванное исходным событием, на протяжении раннего периода внутрикорпусного повреждения активной зоны;
- b) стадия 2: поздний период внутрикорпусного повреждения активной зоны вплоть до отказа корпуса реактора;
- c) стадия 3: долговременная реакция станции.

5.20. Стадию 3 иногда подразделяют еще на три участка: (i) стадия 3a – сразу после повреждения корпуса реактора (для учета проблем, возникающих в связи с повреждением корпуса реактора, например, прямого нагрева защитной оболочки); (ii) стадия 3b – до нескольких часов после повреждения корпуса реактора (для учета немедленного поведения расплава вне корпуса, например, стабилизации расплава вне корпуса или начала взаимодействия расплава активной зоны с бетоном); и (iii) стадия 3c – длительная, начиная от нескольких часов после повреждения корпуса реактора (для учета проблемных ситуаций, возникающих в связи с поведением расплава вне корпуса, таких как повышение давления в связи с образованием неконденсируемых газов при взаимодействии бетона с активной зоной, или явлений возгорания, или повышения давления в связи с происходящим образованием пара). В таблице 6 представлены примеры типовой структуры и узловых вопросов дерева событий защитной оболочки для типового реактора с водой под давлением с сухой защитной оболочкой больших размеров.

Аварийно-восстановительные работы или действия по управлению тяжелыми авариями и вопросы оборудования

5.21. В ВОБ уровня 2 следует отражать действия по управлению тяжелыми авариями. Как правило, действия персонала, учитываемые в рамках ВОБ, включены в процедуры и руководящие принципы управления тяжелыми авариями на станции. Ручные действия, которые требуются вскоре после начала повреждения активной зоны, можно представить в виде деревьев событий для аварийных последовательностей в модели ВОБ уровня 1, если можно с уверенностью предсказать условия для их реализации. В таких случаях

статус выполняемых вручную мероприятий (успех или неуспех) должен быть отражен либо прямо, с помощью атрибута какого-либо состояния повреждения станции, либо косвенно, посредством их воздействия на состояние других атрибутов, уже заданных для определенного состояния повреждения станции. Соответствующие действия по управлению тяжелыми авариями, которые не представлены в модели уровня 1, следует включать в дерево событий защитной оболочки. Как правило, такие действия – это действия, выполнение которых предполагается позднее в хронологии последовательности тяжелой аварии, например, повторное заполнение парогенераторов для снижения выбросов в окружающую среду через поврежденные трубы парогенератора и перезапуск системы впрыска низкого давления после повреждения границ первого контура, вызванного высокой температурой. В свою очередь, результаты ВОБ уровня 2 могут и должны быть использованы для определения или улучшения действий по управлению тяжелыми авариями, как объясняется в разделе 8.

5.22. Важно обеспечивать, чтобы надлежащим образом анализировались и учитывались потенциальные зависимости между действиями оператора, включенными в модели аварийных последовательностей в рамках ВОБ уровня 1 и в дерево событий защитной оболочки в рамках ВОБ уровня 2. Обработка вероятностными методами действий, выполняемых вручную, должна соответствовать той, которая была применена в ВОБ уровня 1. Следует также должным образом принимать во внимание зависимости, связанные с готовностью систем.

ТАБЛИЦА 6. ПРИМЕРЫ УЗЛОВЫХ ВОПРОСОВ ДЕРЕВА СОБЫТИЙ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ ДЛЯ РЕАКТОРА С ВОДОЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Вопросы, связанные с основными событиями	Зависимость от предыдущего	Тип вопроса
Стадия 1: от исходного события до ранней стадии внутрикорпусного повреждения активной зоны		
1. Изолирована ли защитная оболочка?	Нет	На основании состояния повреждения станции
2. На какой части станции в состоянии повреждения сохранилось электроснабжение переменного тока?	Нет	На основании состояния повреждения станции

ТАБЛИЦА 6. ПРИМЕРЫ УЗЛОВЫХ ВОПРОСОВ ДЕРЕВА СОБЫТИЙ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ ДЛЯ РЕАКТОРА С ВОДОЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ (продолж.)

Вопросы, связанные с основными событиями	Зависимость от предыдущего	Тип вопроса
3. Каково механическое состояние систем орошения на самой ранней стадии аварии?	Нет	На основании состояния повреждения станции
4. Каково механическое состояние вентиляторов на самой ранней стадии аварии?	Нет	На основании состояния повреждения станции
5. Произведен ли сброс давления в системе теплоносителя реактора вручную на самой ранней стадии аварии?	2	На основании процедур по ликвидации аварии
6. Происходит ли температурный отказ горячей нитки на самой ранней стадии аварии?	5	Развитие аварии
7. Происходит ли температурный разрыв труб парогенератора на самой ранней стадии аварии?	5, 6	Развитие аварии
8. Восстановлено ли/поддерживается ли электроснабжение переменного тока на самой ранней стадии аварии?	2	На основании состояния повреждения станции
9. Включились ли системы орошения на самой ранней стадии аварии?	3, 6, 8	Развитие аварии
10. Произошло ли возгорание водорода на самой ранней стадии аварии?	4, 5, 6, 8, 9	Развитие аварии
11. Происходит ли отказ защитной оболочки на самой ранней стадии аварии?	1, 10	Развитие аварии
12. Восстанавливается ли изоляция защитной оболочки на самой ранней стадии аварии?	1, 8	На основании состояния повреждения станции
13. Включается ли система вентиляции с фильтрацией на самой ранней стадии аварии?	1, 10, 11	Развитие аварии

ТАБЛИЦА 6. ПРИМЕРЫ УЗЛОВЫХ ВОПРОСОВ ДЕРЕВА СОБЫТИЙ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ ДЛЯ РЕАКТОРА С ВОДОЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ (продолж.)

Вопросы, связанные с основными событиями	Зависимость от предыдущего	Тип вопроса
<i>Стадия 2: поздний период развития повреждения, включая разрушение корпуса реактора</i>		
14. Локализовано ли повреждение активной зоны в корпусе, предотвращая разрушение корпуса реактора?	5, 6, 7, 8	Развитие аварии
15. Происходит ли энергетическое взаимодействие теплоносителя с топливом и нарушение целостности корпуса реактора и защитной оболочки?	5, 6, 7, 14	Развитие аварии
16. Каковы режим разрушения корпуса реактора и процесс выброса обломков активной зоны?	5, 6, 7, 14, 15	Развитие аварии
17. Происходит ли резкий выброс из корпуса реактора и разрушение защитной оболочки?	16	Развитие аварии
18. Затоплена ли или остается сухой при разрушении корпуса реактора область под корпусом реактора?	Нет	Развитие аварии
19. Каков режим взаимодействия между теплоносителем и топливом под корпусом после разрушения корпуса реактора?	16, 18	Состояние повреждения и проект станции
20. Происходит ли возгорание водорода при разрушении корпуса реактора?	4, 8, 9, 10, 14, 16	Развитие аварии
21. Происходит ли отказ защитной оболочки при разрушении корпуса реактора?	1, 11, 13, 15, 16, 19, 20	Развитие аварии
22. Включается ли система вентиляции с фильтрацией при разрушении корпуса реактора?	1, 11, 13, 15, 16, 19, 20, 21	Развитие аварии
<i>Стадия 3: длительная реакция станции</i>		
23. Восстановлено ли/поддерживается ли энергоснабжение переменного тока на поздней стадии аварии?	8	На основании состояния повреждения станции

ТАБЛИЦА 6. ПРИМЕРЫ УЗЛОВЫХ ВОПРОСОВ ДЕРЕВА СОБЫТИЙ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ ДЛЯ РЕАКТОРА С ВОДОЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ (продолж.)

Вопросы, связанные с основными событиями	Зависимость от предыдущего	Тип вопроса
24. Включаются ли/ продолжают ли работать системы орошения на поздней стадии аварии?	23, 9	Состояние повреждения станции/ Развитие аварии
25. Включаются ли/ продолжают ли работать охлаждающие вентиляторы на поздней стадии аварии?	4, 8	На основании состояния повреждения станции
26. Каково состояние вентиляторов и систем орошения на поздней стадии аварии?	24, 25	Вопрос обобщающего типа
27. Находятся ли обломки активной зоны за пределами корпуса в конфигурации, подающей охладению?	16, 18, 19, 15, 17	Развитие аварии
28. Происходит ли возгорание водорода на поздней стадии аварии?	10, 20, 26	Развитие аварии
29. Происходит ли отказ защитной оболочки на поздней стадии аварии?	1, 10, 11, 13, 15, 21, 26, 20, 28, 19	Развитие аварии
30. Включается ли система вентиляции с фильтрацией на поздней стадии аварии?	1, 10, 11, 13, 15, 19, 20, 21, 26, 28, 27	Развитие аварии
31. Сохраняется ли целостность плиты основания защитной оболочки?	11, 12, 21, 22, 27, 29, 31	Развитие аварии
32. Каковы режимы отказа защитной оболочки?	11, 21, 29	Развитие аварии

5.23. Влияние условий окружающей среды, возникающих в связи с тяжелой аварией, на устойчивость компонентов и систем, рассматриваемых в рамках модели ВОБ уровня 2, следует анализировать и надлежащим образом учитывать. Под воздействиями условий окружающей среды может подразумеваться воздействие температуры, давления, влажности, режимов излучения, а также воздействия вследствие энергетических событий (например, кратковременные скачки температуры и давления или импульсные нагрузки от детонаций или паровых взрывов).

5.24. В составе логической структуры дерева событий следует рассматривать возможные неблагоприятные последствия действий по управлению тяжелыми авариями. Например, впрыск воды в поврежденную

активную зону может сдерживать развитие тяжелой аварии. В то же время существует также вероятность активного взаимодействия топлива с теплоносителем, раздробления топливных элементов и дополнительных выбросов пара, водорода и радиоактивных материалов.

Процесс квантификации деревьев событий защитной оболочки

5.25. Назначение условных вероятностей ветвям дерева событий защитной оболочки следует подкреплять документальным анализом и данными, которые обеспечивают обоснованное представление неопределенности в исходе каждого узлового события. Следует обращать внимание на те аспекты, которые могут повлиять на возможность прогнозирования аналитиком развития тяжелой аварии, включая полноту, надежность и валидацию имеющихся компьютерных кодов, применимость существующих экспериментальных данных к натурным условиям реактора. Примеры методов изучения таких неопределенностей можно найти в [7-10].

5.26. Логическое обоснование, используемое при выработке надлежащих значений вероятности для каждой ветви, иногда можно сделать более понятным за счет разделения проблемы на ряд дополнительных вопросов согласно определяющим явлениям [11, 12]. Такие оценки можно проводить отдельно, с описанием результатов в сопроводительной документации, и использовать эти результаты в узлах дерева событий защитной оболочки; или же они могут представлять неотъемлемую часть дерева событий защитной оболочки в виде кустов, которые вырастают из узлов дерева событий защитной оболочки. Степень интеграции оценок в квантификацию дерева событий защитной оболочки в первую очередь зависит от возможностей программного продукта, используемого для квантификации ВОБ уровня 2. Для создания и квантификации деревьев событий защитной оболочки используются связываемые деревья событий, деревья отказов (см., например, [13]), пользовательские функции и прочие методы.

5.27. Безотносительно к подходу, принятому для получения значений вероятностей событий, этот процесс должен быть контролируемым, с тем чтобы отслеживать и понимать техническое обоснование могли и другие лица, и единообразно применяться ко всему спектру событий или вопросов, описываемых в дереве событий защитной оболочки. При назначении вероятностей можно использовать несколько источников текущей и релевантной информации, например:

- a) детерминистический анализ с использованием апробированных компьютерных кодов для моделирования тяжелых аварий или основных принципов;
- b) соответствующие экспериментальные измерения или наблюдения;
- c) анализы и выводы исследований для аналогичных станций;
- d) заключения экспертов, в том числе независимых.

5.28. Существует ряд методов и инструментальных средств, которые можно использовать для преобразования такой информации в цифровые данные по каждому значению вероятности. В настоящем руководстве по безопасности кратко описаны два простых инструментальных средства – пороговый подход и интегральный метод. Основным источником информации для многих ВОБ уровня 2 исторически считался доклад [14]. Однако со времени создания доклада [14] база знаний о явлениях, связанных с тяжелыми авариями, существенно расширилась, что снизило полезность этого источника для современных исследований ВОБ уровня 2, которые должны отражать текущий уровень знаний. Подборка данных о последних релевантных явлениях при тяжелых авариях представлена в [15, 16]. В ряде областей были проведены исследования, например, таких явлений, как:

- a) паровые взрывы внутри корпуса реактора (альфа-режим отказа защитной оболочки), см., например, [11];
- b) непосредственный нагрев защитной оболочки, см., например, [17];
- c) отказ нижней части корпуса реактора, см., например, [18, 19];
- d) распространение пламени и переход от интенсивного горения к детонации, см., например, [20].

Пороговый подход

5.29. Пороговый подход можно использовать для оценки вероятностей событий, которые могут возникать, когда спрогнозированные аварийные условия приближаются к установленным пределам или критериям. Таким образом, вероятность отказа зависит от того, насколько «близок» параметр к порогу отказа. Присвоение численных значений указывает на то, насколько аналитик уверен в достоверности, применимости и полноте детерминистических прогнозов соответствующих явлений.

Интегральный подход

5.30. При интегральном подходе применяется более высокая степень математической строгости для сравнения того, насколько близко

интересующий параметр (давление, температура и пр.) приблизился к порогу отказа (разрушающее давление, разрушающая температура и пр.). Как интересующий параметр, так и порог отказа рассматриваются как неопределенные параметры. Функции плотности вероятностей, представляющие вероятностные распределения неопределенных параметров, выводятся на основе детерминистического анализа и экспертной оценки, и перекрытие и/или наложение двух таких вероятностных распределений определяет степень «уверенности» в отказе (субъективную вероятность). В этом случае согласованность полученных вероятностных значений зависит от согласованного задания параметров распределения (медианных значений, отклонений от медианы, выбора типа распределения и пределов).

5.31. Оба подхода, пороговый и интегральный, можно применять в рамках ВОБ как в отдельности, так и в сочетании. В любом случае для обеспечения того, чтобы вероятности были получены согласованным образом для широкого спектра событий и явлений, оцениваемых при ВОБ уровня 2, следует разрабатывать ряд соответствующих правил и включать их в документацию по ВОБ. В такие правила следует включать логическое обоснование задания конкретных вероятностных оценок.

РАССМОТРЕНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ

5.32. В пунктах 5.32-5.42 содержатся рекомендации по выполнению Требования 17 публикации [2], касающегося анализа неопределенностей и чувствительности для ВОБ уровня 2. При анализе ВОБ неопределенность возникает вследствие некоторых факторов, в том числе:

- 1) *неопределенности, связанной с неполнотой.* Общая цель ВОБ уровня 2 заключается в оценке возможных сценариев (последовательностей событий), которые могут привести к выбросу радионуклидов; в основном это касается сценариев, смоделированных в рамках ВОБ уровня 1. Однако нет гарантии, что этот процесс может быть когда-либо реализован во всей полноте и что будут установлены и надлежащим образом проанализированы все возможные сценарии. Такой возможный недостаток полноты вносит некоторую неопределенность в результаты и выводы анализа, которую трудно оценить количественно. Неопределенности такого типа невозможно учесть в явном виде. Тем не менее, снизить неопределенности такого типа можно с помощью широкого экспертного рассмотрения;

- 2) *недостатка детализации в связи с агрегированием.* Группирование аварийных последовательностей или подмножеств, полученных в рамках ВОБ уровня 1, по состояниям повреждения станции в целях формирования входных данных ВОБ уровня 2 также вносит неопределенности, поскольку в результате происходит потеря некоторых деталей моделирования. Далее, неопределенность вносится в процессе группирования аварийных последовательностей в связи с возможной неполнотой атрибутов, используемых аналитиком для группирования «сходных» аварийных последовательностей. Эти элементы неопределенности также трудно или даже невозможно оценить количественно, но со временем, по мере наращивания компьютерных ресурсов, их становится меньше, что способствует повышению степени детализации, требуемой в рамках ВОБ;
- 3) *неопределенности моделирования.* Такая неопределенность возникает в силу недостатка знаний, касающихся правильности методов, моделей, допущений и приближений, используемых в отдельных аналитических задачах, поддерживающих ВОБ уровня 2. Неопределенности моделирования формально рассматриваются в рамках исследования неопределенностей при проведении ВОБ уровня 2 (см. пункты 5.33-5.40);
- 4) *неопределенности параметров.* Она возникает в силу наличия погрешностей, связанных со значениями основных параметров, используемых при квантификации ВОБ уровня 2, таких как частоты отказов оборудования и последовательности исходных событий. Этот тип неопределенности обычно рассматривается в рамках анализа неопределенностей посредством задания распределения погрешностей всех параметров и их переноса во все части анализа.

Позиции (1) и (3) обычно относятся к гносеологическим неопределенностям (т.е. неопределенностям в силу недостатка знаний). Для некоторых событий в рамках ВОБ уровня 2 могут также присутствовать случайные погрешности.

5.33. Поскольку аналитики ВОБ уровня 2 используют вероятности в дереве событий защитной оболочки для отражения уверенности в том, что конкретный выбор параметров моделирования или исходов событий является корректным, ВОБ уровня 2 в некотором смысле непосредственно связан с рассмотрением неопределенностей, которое является одним из наиболее важных аспектов анализа.

5.34. Аналитикам ВОБ уровня 2 следует определять доминирующие источники неопределенностей в анализе и количественно оценивать их влияние на базовые (полученные точечной оценкой) результаты. Это обычно выполняется посредством двух методов: (i) анализа чувствительности и (ii) анализа неопределенностей.

5.35. Анализ чувствительности используется для оценки того, в какой степени изменились бы результаты, если бы были выбраны альтернативные модели, гипотезы или величины входных параметров (таким образом, этот анализ дает оценку неопределенностей в отношении конкретного вопроса или конкретной группы связанных вопросов в конкретный момент времени); в то время как в анализе неопределенностей исследуется ряд альтернативных моделей или величин параметров, каждой модели или величине назначается вероятность, и генерируется распределение результатов, в рамках которого базовые результаты представляют один из возможных исходов. Каждый результат в рамках полного распределения сопровождается вероятностью (субъективной), отражающей степень уверенности в каждом конкретном результате. Можно рассчитать уровни интегральной вероятности результатов (например, 5-й, 50-й и 95-й процентиля представляют соответственно вероятность 5%, 50% и 95%, и тогда «достоверный» результат будет ниже соответствующего уровня, для которого установлена каждая из этих вероятностей). В целом, процесс квантификации и переноса неопределенностей в рамках ВОБ уровня 2 можно разделить на четыре основных шага, описанных в пунктах 5.36-5.42.

(1) Определение сферы охвата анализа неопределенностей

5.36. Источники неопределенности при ВОБ уровня 2 многочисленны, и нецелесообразно проводить количественную оценку всех этих неопределенностей. Опыт проведения исследований неопределенностей для ограниченного числа аспектов явлений, связанных с тяжелыми авариями, дает основание полагать, что влияние неопределенностей, связанных с некоторыми источниками, более значительно и является в большей степени доминирующим, чем влияние неопределенностей, связанных с другими источниками. Тогда в интегральном смысле совокупную неопределенность в результатах ВОБ уровня 2 можно оценить путем выбора доминирующих источников неопределенности и их подробного анализа. Информация об оценке неопределенностей, связанных с тяжелыми авариями и ВОБ уровня 2, представлена в [10].

5.37. Анализ чувствительности является полезным инструментальным средством для выбора доминирующих источников неопределенности. Примеры областей неопределенности, связанных с развитием тяжелых аварий, перечислены в таблице 5.

(2) Описание и/или оценка неопределенностей

5.38. После определения сферы охвата анализа на втором этапе устанавливается диапазон значений неопределенных параметров. Каждое значение в диапазоне значений, которые может принимать неопределенный параметр, связано с некоторой вероятностью, в результате чего получается функция плотности вероятности или распределение вероятностей. Во многих случаях такие функции плотности или распределения вероятности определяются при оценке вероятностей для точек ветвления в дереве событий защитной оболочки. Дополнительные параметры, которые также можно охарактеризовать или оценить посредством распределений вероятностей, могут, к примеру, включать расчетные параметры источника выбросов, которые не отображаются в явном виде в дереве отказов защитной оболочки.

5.39. Экспертные оценки, используемые при установлении распределения вероятностей для каждого параметра, следует дополнять данными, анализами и соображениями, приведенными в опубликованной литературе. Кроме того, распределения вероятности неопределенных параметров следует подвергать экспертному рассмотрению в рамках исследования ВОБ.

(3) Перенос неопределенностей

5.40. Перенос неопределенностей на все части анализа можно также выполнять различными методами, зависящими от цели анализа неопределенностей. Примеры имеющихся методов переноса неопределенностей включают: (i) использование дискретных распределений вероятности и (ii) методы прямого моделирования, основанные либо на методе случайной выборки (метод Монте-Карло), либо на методе послойной выборки (латинский гиперкуб), которые преимущественно применяются в настоящее время. Дополнительные сведения можно найти в [7, 14, 21-25].

(4) Отображение и интерпретация результатов

5.41. Результаты анализа неопределенностей следует тщательно проверять для придания большего веса выводам ВОБ уровня 2. В современных ВОБ,

которые включают количественную оценку и перенос неопределенностей, результаты отображаются с помощью гистограмм, функций плотности вероятности, интегральных функций распределения и табличных форматов, иллюстрирующих разные квантили расчетных неопределенностей вместе с оценками среднего и медианного значений для этих распределений вероятности [7, 14]. Для оценки важности конкретных неопределенных аспектов в ВОБ можно также применять методы регрессивного анализа. Коэффициенты корреляции зависимых переменных по отношению к неопределенным аспектам или явлениям могут дать представление об их важности.

5.42. Если вместо всестороннего анализа неопределенностей используется анализ чувствительности, следует разработать метрику, позволяющую отобразить влияние альтернативных моделей или величин параметров на результаты ВОБ уровня 2.

ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ КВАНТИФИКАЦИИ ДЕРЕВЬЕВ ОТКАЗОВ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ

5.43. Результаты и сведения, полученные в ходе квантификации деревьев отказов защитной оболочки, следует подытоживать и обсуждать. Результаты часто отображают в табличной форме так называемой матрицы поведения защитной оболочки («С-матрица»), которая позволяет провести в сжатой форме сравнение относительных вероятностей различных исходов деревьев событий защитной оболочки. С-матрица указывает условные вероятности $C(m, n)$ того, что категория выброса «n» может реализоваться при условии состояния повреждения станции «m». Анализ неопределенностей приводит к формированию множеств альтернативных значений элементов С-матрицы⁵.

5.44. Следует выявлять и объяснять основные факторы-вкладчики в раннее повреждение защитной оболочки (в том числе события с байпасом защитной оболочки и неизолированной защитной оболочкой). Следует исследовать и объяснять коренные причины вариаций условной вероятности раннего

⁵ В зависимости от характера событий в дереве событий защитной оболочки каждая альтернативная С-матрица в пределах этого множества может иметь элементы, значения которых составляют 1 или 0, тогда как базисная С-матрица будет иметь элементы, являющиеся средневзвешенными значениями С-матриц во всем множестве альтернативных матриц.

отказа защитной оболочки среди различных состояний повреждения станции.

5.45. Сочетая результаты ВОБ уровня 1 (частоты возникновения различных состояний повреждения станции и связанные с ними неопределенности) с условными вероятностями различных режимов отказа и/или режимов выброса и связанными с ними неопределенностями, получаемыми в результате квантификации дерева отказов защитной оболочки, можно определить значения частоты и неопределенности, связанные с каждой категорией выбросов.

5.46. Вклад каждой категории выбросов в результирующую частоту выбросов следует также отображать в табличной форме, с тем чтобы можно было установить основные факторы-вкладчики в результирующую частоту выбросов.

5.47. В общем случае, для каждой выбранной категории выбросов выбирается одна репрезентативная аварийная последовательность, для которой оцениваются параметры источника выбросов на основании результатов, полученных из других ВОБ, или с использованием специфических для станции расчетов, проводимых с помощью соответствующего компьютерного кода⁶ для оценки параметров источников выбросов при тяжелых авариях; см. обсуждение в разделе 6 и Приложении II. При выборе репрезентативной аварийной последовательности следует руководствоваться ее частотой и доминирующими последствиями внутри этой категории выбросов. В качестве альтернативного варианта можно оценить параметры источника выбросов для каждой аварийной последовательности, вносящей вклад в конкретную категорию и/или группу выбросов. Иногда используется промежуточный подход, когда расчеты выполняются для доминирующей аварийной последовательности и некой альтернативной аварийной последовательности в каждой из категорий выбросов. Кроме того, для категорий выбросов, возникающих вследствие потенциально неопределенных механизмов (таких как паровой взрыв, прямой нагрев защитной оболочки), для которых не имеется достоверных моделей, расчеты по программным кодам можно дополнить простыми анализами и экспертной оценкой.

⁶ В некоторых ВОБ уровня 2 разработаны параметрические модели источников выбросов на основании расчетов, проведенных с помощью таких кодов, как МААР [26] или MELCOR [27], и такой подход позволяет сочетать неопределенности в параметрах выбросов с интегрированным процессом оценки и переноса неопределенностей.

6. ПАРАМЕТРЫ ИСТОЧНИКА ВЫБРОСОВ ПРИ ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЯХ

6.1. Следующим этапом ВОБ уровня 2 является расчет параметров источников выбросов, связанных с конечными состояниями дерева событий защитной оболочки. Параметры источника выбросов определяют количество радиоактивных материалов, выбрасываемых со станции в окружающую среду. Некоторые дополнительные характеристики выбросов можно определить в соответствии со сферой охвата ВОБ (см. таблицу 7). Поскольку дерево событий защитной оболочки имеет большое количество конечных состояний, по практическим соображениям для этого требуется сгруппировать конечные состояния в категории выбросов. Затем проводится анализ параметров источников выбросов по категориям выбросов. С этой целью можно использовать один из «интегральных» компьютерных кодов, описанных в Приложении II. Таким образом, эта часть процесса включает:

- a) определение категорий выбросов;
- b) группирование конечных состояний дерева событий защитной оболочки по категориям выбросов;
- c) проведение анализа параметров источников выброса для этих категорий выбросов;
- d) группирование категорий выбросов по категориям источников выбросов для использования в ВОБ уровня 3.

6.2. Глубина требуемого анализа параметров источника выбросов зависит от целей и намеченных применений ВОБ. Если предстоит использовать параметры источников выбросов в рамках ВОБ уровня 3, то может потребоваться, чтобы характеристики источника выброса в окружающую среду были более развернутыми. Для анализа последствий за пределами площадки потребуется полное описание характеристик выбросов радиоактивных материалов (т.е., количественное прослеживание перемещения всего объема радиоактивных материалов активной зоны) для всех аварийных последовательностей, которые вносят вклад в суммарную частоту повреждения активной зоны [28]. С другой стороны, в некоторых ВОБ уровня 2 требуется описание только частоты аварий, которые приводят к крупным выбросам на ранней стадии [15, 29]. Для многих ВОБ уровня 2 проводится анализ, представляющий собой некий средний вариант, в котором требуется оценить выброс радиоактивных материалов, ассоциируемый с суммарной частотой повреждения активной зоны, но при этом учитываются только определенные радиоактивные изотопы. Часто в качестве главных индикаторов всех источников радиоактивных выбросов выбираются йод и цезий. Таким образом, существует много способов определения атрибутов

источников радиоактивных выбросов. Однако важно, чтобы эти атрибуты определялись в самом начале ВОБ уровня 2.

ЗАДАНИЕ КАТЕГОРИЙ ВЫБРОСОВ

6.3. Дерево событий защитной оболочки имеет большое количество конечных состояний, каждое из которых представляет последовательность событий, возникающих после повреждения активной зоны. Большинство таких событий оказывает значительное влияние на выброс радиоактивных материалов из защитной оболочки. Характеристики таких событий включают:

- a) режим отказа системы теплоносителя реактора;
- b) режим и время отказа защитной оболочки;
- c) механизмы охлаждения материалов расплава активной зоны;
- d) механизмы удерживания радиоактивных материалов.

6.4. Однако многие конечные состояния дерева событий защитной оболочки идентичны или аналогичны с точки зрения произошедших явлений и результирующих выбросов радиоактивных материалов в окружающую среду. Сходные конечные состояния следует группировать или объединять друг с другом с целью сокращения количества разных аварийных последовательностей, которые требуют детерминистического анализа параметров источника выбросов.

6.5. Следует задавать ряд атрибутов, связанных с возможными механизмами переноса радиоактивных материалов и механизмами отказа защитной оболочки, которые можно использовать для описания категорий выбросов. Типичные атрибуты, которые обычно используются при определении категорий выбросов для легководных реакторов, содержатся в таблице 7. Выброс радиоактивных материалов в окружающую среду зависит от этих атрибутов.

ТАБЛИЦА 7. ТИПИЧНЫЕ АТТРИБУТЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЕЧНЫХ СОСТОЯНИЙ ДЕРЕВЬЕВ СОБЫТИЙ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ

Атрибуты выбросов	Варианты	Типичные атрибуты ВОБ уровня 2
Момент времени в ходе тяжелой аварии, в который начинается выброс	В самом начале повреждения защитной оболочки (например, байпас защитной оболочки) На ранней стадии (во время повреждения активной зоны внутри корпуса реактора) На промежуточной стадии (сразу же после повреждения корпуса реактора) На поздней стадии (через несколько часов после повреждения корпуса реактора)	
Давление в корпусе реактора во время повреждения активной зоны	Высокое (близкое к номинальному) Низкое (сброс давления)	
Режимы или механизмы течи в защитной оболочке	Течь, соответствующая проектной аварии Течь, соответствующая запроектной аварии Катастрофическое разрушение защитной оболочки Авария с потерей теплоносителя в смежной системе Разрыв труб парогенератора Открытые отсечные клапаны защитной оболочки Проходка в плите основания	
Активные технические средства, обеспечивающие механизмы улавливания радиоактивных материалов	Системы орошения Вентиляционные охладители Вентиляция с фильтрацией Прочие	
Пассивные технические средства, обеспечивающие механизмы улавливания радиоактивных материалов	Вторичные защитные оболочки Здания реактора Бассейны понижения давления Бассейны верхнего расположения Ледяные подушки Извилистые пути выбросов Подводный путь выбросов	

ТАБЛИЦА 7. ТИПИЧНЫЕ АТТРИБУТЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЕЧНЫХ СОСТОЯНИЙ ДЕРЕВЬЕВ СОБЫТИЙ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ (продолж.)

Атрибуты выбросов	Варианты	
Время, истекшее с начала тяжелой аварии	<div> Короткий период (например, для ректора с водой под давлением обычно менее 2 часов) Средний период (например, для ректора с водой под давлением обычно от 2 до 10 часов) Длительный период (например, для ректора с водой под давлением обычно более 10 часов) </div>	Дополнительные атрибуты для связи с ВОБ уровня 3
Место выброса	<div> На уровне земли Над землей </div>	
Энергия выброса	<div> Низкая (минимальная подъемная сила в атмосфере за пределами площадки) Мощная (создающая большую подъемную силу) </div>	
Интенсивность выброса	<div> Выброс резкими хлопками Медленный непрерывный выброс Множество шлейфов </div>	

6.6. Эти атрибуты следует использовать для определения набора категорий выбросов для анализа параметров источника выбросов в рамках ВОБ уровня 2. Если в ходе этого процесса формируется большое количество категорий выбросов, то их следует в дальнейшем группировать в контролируемое подмножество, которое можно использовать для анализа параметров источника выбросов.

ГРУППИРОВАНИЕ КОНЕЧНЫХ СОСТОЯНИЙ ДЕРЕВЬЕВ СОБЫТИЙ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКИ ПО КАТЕГОРИЯМ ВЫБРОСОВ

6.7. Конечные состояния дерева событий защитной оболочки следует затем сгруппировать в определенные категории выбросов. Поскольку этот процесс, как правило, включает группирование тысяч конечных состояний дерева событий защитной оболочки в небольшое количество (обычно десятки) категорий выбросов, к процессу группирования следует применять систематический подход. В силу необходимости эффективной обработки

большого объема информации это обычно осуществляется с использованием компьютеризированных инструментальных средств. Конкретный способ выполнения зависит от программных средств, используемых для квантификации дерева событий защитной оболочки, но процесс этот может предполагать последующую обработку конечных состояний дерева событий защитной оболочки (сечений) или включение атрибутов в модель дерева событий защитной оболочки для их использования в процессе группирования.

6.8. Группирование конечных состояний дерева событий выполняется с учетом различных факторов, которые влияют на выброс радиоактивных материалов. В прошлом группирование конечных состояний дерева событий защитной оболочки выполнялось в два или три этапа с целью раздельного группирования конечных состояний. Например, на первом этапе конечные состояния могли группироваться согласно факторам, влияющим на величину и динамику выбросов. Это может сопровождаться вторым, а возможно и третьим этапом, на котором эти группы разделяются на основании атрибутов, важных для анализа рассеяния радиоактивных материалов в атмосфере за пределами площадки и/или для оценки воздействия на здоровье людей за пределами площадки. Последний этап имеет важность для исследований, которые проводятся для ВОБ уровня 3, но может быть также полезен при интерпретации результатов ВОБ, проводимых только на уровне 2.

6.9. Предполагается, что каждое конечное состояние дерева событий защитной оболочки в пределах определенной группы будет иметь аналогичные характеристики радиоактивных выбросов и последствия за пределами площадки. В результате, проведенный анализ источника выбросов для определенной группы будет характеризовать весь набор конечных состояний в рамках группы, и объем анализа параметров источника выбросов будет меньшим.

6.10. Частота выбросов для каждой конкретной категории вычисляется путем суммирования частот всех конечных состояний дерева событий защитной оболочки, занесенных в определенную группу.

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКА ВЫБРОСОВ

6.11. Было показано, что на величину и характеристики источников выбросов при тяжелых авариях влияют многие конструктивные особенности станции и аварийные явления. Сюда относятся фиксированные проектные характеристики станции, например, конфигурация топливных элементов и регулирующей

сборки, а также состав материала, плотность и распределение энерговыделения в активной зоне, глубина выгорания и состав бетона. Эти проектные характеристики станции будут идентичными для всех конечных состояний дерева событий защитной оболочки. Помимо них, существует ряд факторов, которые могут варьироваться для разных аварийных последовательностей, в том числе:

- a) давление в системе теплоносителя реактора во время повреждения активной зоны и в момент разрыва корпуса реактора;
- b) наличие охлаждающей воды (внутри корпуса и вне корпуса);
- c) глубина и состав обломков разрушенной активной зоны вне корпуса;
- d) функционирование устройств защиты защитной оболочки (бассейна понижения давления, системы орошения, ледовых конденсаторов и т.п.);
- e) масштаб повреждения защитной оболочки (т.е. скорость течи);
- f) местоположение повреждения защитной оболочки и вытекающий из этого путь переноса радиоактивных материалов в окружающую среду

6.12. Один вариант заключается в проведении анализа параметров специфических для станции источников выбросов с определением величины и атрибутов источника выбросов для каждой из категорий выбросов. Этот анализ следует проводить с использованием компьютерного кода, способного обеспечить интегральное моделирование явлений, связанных с тяжелой аварией, т.е., одновременно рассчитывать теплогидравлическую реакцию реактора, нагрев активной зоны, повреждение топливных элементов и перемещение топливных материалов, реакцию защитной оболочки, высвобождение радиоактивных материалов из топливных элементов и перенос радиоактивных аэрозолей и паров через систему теплоносителя реактора и в защитную оболочку.

6.13. При проведении анализа параметров источников выбросов следует моделировать все процессы, влияющие на выброс и перенос радиоактивных материалов внутри защитной оболочки и в смежных зданиях, в том числе:

- a) высвобождение радиоактивных материалов из топлива на внутрикорпусной стадии аварии;
- b) удерживание радиоактивных материалов в пределах системы теплоносителя реактора;
- c) высвобождение радиоактивных материалов из топлива на внекорпусной стадии;
- d) удерживание радиоактивных материалов в пределах защитной оболочки и смежных зданий.

6.14. При расчете параметров источника выбросов и модели станции следует оценить пространственное распределение радионуклидных изотопов в пределах контура теплоносителя реактора и защитной оболочки, а также их количества, выбрасываемые в окружающую среду.

6.15. Такой анализ следует проводить для достаточного количества аварийных последовательностей в каждой из категорий выбросов, с тем чтобы убедиться в точности определения параметров источника выбросов для данной группы. На практике, если какая-либо категория выбросов содержит весьма похожие аварийные последовательности, а явления, которые приводят к выбросам, характеризуются сравнительно низкой неопределенностью, то анализ параметров источника выбросов можно проводить для относительно небольшого числа аварийных последовательностей. В то же время, если выбросы вызваны энергетическими явлениями (такими как прямой нагрев защитной оболочки) или связаны с явлениями, характеризующимися относительно высоким уровнем неопределенности, то анализ параметров источника выбросов нужно будет проводить для ряда аварийных последовательностей, с тем чтобы обеспечить уверенность в правильном описании источника выбросов. В некоторых ВОБ уровня 2, выполненных в последнее время с применением одного из современных компьютерных кодов для тяжелых аварий и мощного компьютера, анализ параметров источника выбросов проводился, как минимум, для одной репрезентативной аварийной последовательности в рамках каждой категории выбросов.

6.16. Анализ параметров источника выбросов, который проводится с использованием интегрального компьютерного кода, следует дополнить кодом, использующим более подробные модели, если анализ выбросов весьма чувствителен к какой-либо уникальной особенности конструкции станции или к определенному механизму переноса радиоактивных материалов. Однако в некоторых ситуациях не всегда возможно или целесообразно проводить анализ параметров источника выбросов, учитывающий специфику станции, например, на ранней стадии проектирования новой станции и на ранних стадиях проведения ВОБ уровня 2, когда требуются быстрые результаты. Для получения предварительных или граничных оценок параметров источника выбросов можно использовать параметрические модели [30].

6.17. Другой вариант заключается в использовании анализа параметров источника выбросов другой станции, если конструкция и характеристики этой базисной станции, связанные с развитием тяжелых аварий, достаточно близки к конструкции и характеристикам анализируемой станции, и имеются в наличии результаты детерминистического анализа. Если вместо расчетов, учитывающих

специфику станции, используются результаты исследований для базисной станции, то для приемлемости этих анализов базисной станции в рамках ВОБ уровня 2 важно, чтобы были выполнены три нижеследующих условия

- 1) следует установить техническую основу в поддержку утверждения о достаточной схожести исследуемой станции с предложенной базисной станцией. Следует определить и сравнить конструктивные особенности, влияющие на перенос радиоактивных материалов и их удержание внутри корпуса реактора, соответствующих трубопроводов системы теплоносителя и конструкций защитной оболочки;
- 2) следует удостовериться в том, что аварийные последовательности, моделируемые в анализе базисной станции, в достаточной степени сходны с аварийными последовательностями, рассматриваемым в рамках ВОБ уровня 2 интересующей станции. Ввиду отличий в эксплуатации систем безопасности реактора или систем защитной оболочки, расчеты для базисной станции могут быть не применимы к тому или иному конкретному состоянию повреждения анализируемой станции⁷;
- 3) расчеты для базисной станции следует выполнять с использованием современной модели реакции станции на явления, связанные с тяжелыми авариями. Следует с осторожностью применять результаты для базисной станции, которые были получены несколько лет тому назад. Состояние знаний и уровень сложности при моделировании развития тяжелых аварий за последние годы существенно изменились, и вследствие этого снизилась достоверность некоторых открытых литературных данных (т.е. представленных в доступных научно-технических публикациях).

6.18. При использовании тех или иных интегральных компьютерных кодов для анализа тяжелых аварий важно понимать, что в них рассматриваются группы радиоактивных элементов или химических соединений, а не отдельные радиоизотопы [31, 32]. Такое упрощение необходимо для сведения сотен

⁷ Например, ряд расчетов аварийных последовательностей, предполагающих «полное обесточивание» станции, для некоторых конструкций реакторов можно найти в доступной документации. Однако существует много вариантов обесточивания станции, зависящих от конкретной конфигурации станционных систем. В некоторых случаях для обеспечения работы небольшой группы компонентов (например, предохранительных клапанов) или систем (например, насосов с паровым приводом) могут иметься в наличии достаточные источники питания постоянного тока, тогда как на других станциях такие источники могут отсутствовать. На такие отличия следует обращать особое внимание, прежде чем применять представленные в литературе результаты к анализируемой станции.

изотопов радиоактивных материалов и актинидов, образующихся в ядерном топливе реактора, к разумному количеству групп радиоактивных элементов, которые можно отследить в интегрированном компьютерном коде для тяжелых аварий. В разных компьютерных кодах можно использовать разные структуры групп, но всё же многие структуры групп основаны на сходстве физических и химических свойств радиоактивных элементов. В структуре группы также учитываются близость химического сродства элементов к тому, чтобы вступать в реакции с другими радиоактивными элементами и нерадиоактивными материалами, которые могут встречаться при их переносе в пределах контура теплоносителя и защитной оболочки, например, с паром, водородом, конструкционными материалами. Типичная структура группы, используемая при анализе выбросов радиоактивных материалов, представлена в таблице 8. Поэтому источник радиоактивного выброса обычно описывается в терминах доли от первоначального количества радионуклидов одной или нескольких таких групп в активной зоне.

6.19. Эффективность, с которой группы радионуклидов, перечисленные в таблице 8, переносятся в окружающую среду, в целом зависит от химической формы, которую они принимают после выхода из области активной зоны. Могут возникать многочисленные химические взаимодействия, в результате которых элементарные формы этих веществ вступают в реакцию и образуют

ТАБЛИЦА 8. ТИПОВАЯ СТРУКТУРА ГРУППЫ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ В РАДИОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Группа	Элементы в группе	Репрезентативный элемент в группе
Инертные газы	Xe, Kr	Xe
Галогены	I, Br	I
Щелочные металлы	Cs, Rb	Cs
Щёлочноземельные элементы	Ba, Sr	Ba
Халькогены	Te, Sb, Se, As	Te
Жаростойкие металлы	Ru, Mo ^a , Pd, Tc, Rh	Ru
Лантаноиды	La, Y, Nd, Eu, Pm, Pr, Sm	La
Актиниды	Ce, Pu, Np, Zr, U ^a	Ce

^a В некоторых моделях молибден (Mo) и уран (U) представлены как отдельные группы

соединения с широким спектром физических свойств [30]. Например, известно, что йод, вступая в реакцию с цезием, образует летучее соединение йодида цезия CsI. Однако, это не единственная форма, в которой может осуществляться перенос йода по пути, ведущему к выбросу. Несколько веществ, перечисленных в таблице 8, могут переноситься в более чем одной химической форме. Разнесение объема содержащихся в активной зоне реакционноспособных веществ по их возможным химическим формам представляет собой неопределенный параметр, который следует учитывать при оценке источников радиоактивных выбросов.

ВЕРИФИКАЦИЯ И ВАЛИДАЦИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ КОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКА ВЫБРОСОВ

6.20. В пунктах 6.20-6.21 содержатся рекомендации по выполнению Требования 18 публикации [2], касающегося использования компьютерных кодов для ВОБ уровня 2. Интегральный(е) код(ы), используемый(е) для анализа параметров источников выбросов, подлежит(ат) верификации и валидации. Это обеспечит надежность результатов, получаемых с помощью таких программ. Однако следует признать, что уровень, на котором может быть выполнена верификация и валидация кода для анализа тяжелых аварий, значительно ниже, чем в случае других кодов, используемых в поддержку ВОБ, например, термогидравлических кодов, используемых в рамках ВОБ уровня 1 в поддержку критериев успеха систем безопасности. Это объясняется в целом ограниченной применимостью экспериментальных результатов к реальным условиям реактора, поскольку не всегда возможно проводить эксперименты, которые отражают экстремальные условия, возникающие при тяжелой аварии, и масштаб геометрии системы теплоносителя реактора и первого контура.

6.21. Пользователям интегрального кода следует обладать опытом применения этого кода, знать моделируемые с его помощью явления и то, как они взаимодействуют, значения входных и выходных данных и ограничения, присущие данному коду.

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКА ВЫБРОСОВ

6.22. Общие результаты анализа параметров источника выбросов следует четко представлять и оформлять документально. Следует в явной форме представлять частоты и характеристики категорий выбросов. Одним из способов является отображение результатов в форме матрицы, аналогичной C-матрице, описанной

ТАБЛИЦА 9. ПРИМЕР КРАТКОГО ОПИСАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКОВ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫБРОСОВ

Атрибуты группы							Доля содержимого активной зоны, выбрасываемого в окружающую среду ^а			
Категория выбросов	Частота (год ⁻¹)	Время начала выбросов	Давление СТР ^б при отказе корпуса	Режим течи защитной оболочки	Выбросы через вспомогательное здание	Активные механизмы смягчения	Хе	I	Cs	Прочие
1	i.iE-i	Раннее	Низкое	РТПП ^с	Да	Нет	0,95	0,11	0,08	x.xE-x
2	j.jE-j	Промежуточное	Высокое	Разрыв	Нет	Нет	0,99	0,14	0,11	y.yE-y
:	:									
:	:									
X	k.kE-k	Промежуточное	Низкое	Номин. течь	Да	Орошение	0,84	0,04	0,02	i.iE-i
:	:									
:	:									
Y	m.mE-m	Позднее	Низкое	Разрыв	Нет	Орошение	0,89	0,002	0,001	j.jE-j
:	:									
N										

^а Эти значения приведены только для примера

^б СТР – система теплоносителя реактора

^с РТПГ – разрыв труб парогенератора

в разделе 5, в которой частота (или вклад в частоту повреждения активной зоны) по каждой категории выбросов представлена в табличной форме. Примерный формат этого метода представления результатов анализа параметров источника выбросов показан в таблице 9.

6.23. Параметры источника выбросов и частоты для категорий выбросов следует использовать для определения частоты крупных выбросов или частоты крупных выбросов на ранней стадии для сравнения с численными критериями безопасности, если таковые установлены для этих событий (см. раздел 8). (Для этого потребуется определение терминов «крупный» и «ранний» в рамках проекта ВОБ уровня 2. Это можно сделать разными способами, как указано в разделе 8).

6.24. Альтернативным форматом отображения результатов анализа параметров источников выброса является дополнительная интегральная функция распределения, в основу которой положена частота выбросов больше чем X , где X варьируется от наименьшей до наибольшей расчетной величины выброса. (Для этого требуется, чтобы в рамках проекта ВОБ уровня 2 был определен термин «величина выброса», который можно понимать, например, как активность ведущего изотопа или группы соответствующих изотопов). Частоту и величину выбросов следует рассматривать совместно при интерпретации ВОБ уровня 2 и ее применений.

6.25. Выводы, полученные в результате такой количественной оценки радионуклидных выбросов, следует подытоживать и обсуждать. Результаты количественного анализа чувствительности или анализа неопределенностей также следует документально оформлять и обсуждать. В частности, для каждой группы радиоактивных материалов следует устанавливать частоту превышения заданной величины выброса. В результатах следует четко показывать статистическую значимость каждой из дополнительных интегральных функций распределения (среднее, медиана, 95-й процентиль и т.п.).

НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

6.26. В пунктах 6.26-6.28 содержатся рекомендации по выполнению Требования 17 публикации [2], касающегося анализа неопределенностей и чувствительности для ВОБ уровня 2. Помимо наличия неопределенностей при моделировании явлений, связанных с тяжелыми авариями, многие химические и физические процессы, определяющие высвобождение радиоактивных материалов из топлива, их отложение и удерживание на внутренних

поверхностях реактора, а также высвобождение радиоактивных материалов после очистки посредством систем безопасности защитной оболочки, до сих пор не вполне поняты. Основные источники неопределенностей при оценке параметров источника выброса перечислены в таблице 10.

6.27. В исследовательских программах прошлого и настоящего достигнут существенный прогресс в части снижения неопределенностей, связанных с параметрами источника выбросов при тяжелых авариях (см., например, [32]). Неопределенности, связанные с физическими процессами при повреждении и перемещении активной зоны, ведут к неопределенности в отношении высвобождения радиоактивных материалов из топлива. Неопределенности, связанные с реакцией защитной оболочки на условия запроектной аварии, ведут к неопределенности в отношении движущих сил переноса радиоактивных материалов по пути их выхода в окружающую среду. Примеры неопределенностей, связанных с этими областями, представлены в разделе 5.

6.28. Эти неопределенности в общем случае не рассматриваются явным образом в вероятностной квантификации в рамках ВОБ уровня 2. Однако неопределенности при квантификации параметров источника выброса следует учитывать посредством проведения исследования чувствительности для основных источников неопределенностей, которые влияют на результаты ВОБ уровня 2.

7. ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ АНАЛИЗА: ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

7.1. Подробные сведения о логическом обосновании и анализах, задействованных в рамках ВОБ уровня 2, следует представлять в форме доклада таким образом, чтобы в нем была отражена информация об использованных методах, процессе ВОБ, а также результатах и выводах, полученных логическим путем. Доклад следует составлять таким образом, чтобы облегчить его рассмотрение, в том числе экспертное рассмотрение, и обеспечить структурированную связь с детализированными вспомогательными документами.

7.2. Всесторонние и общие руководящие материалы в отношении требований и задач, а также организации и подготовки документации для ВОБ представлены в [4]. Эти руководящие материалы в равной степени применимы и к ВОБ уровня 2. Данный раздел содержит конкретные рекомендации по

выполнению Требования 20 публикации [2] относительно документирования оценки безопасности для ВОБ уровня 2.

ЦЕЛИ ДОКУМЕНТАЦИИ

7.3. В документации по ВОБ уровня 2 следует предоставлять информацию, достаточную для выполнения задач исследования и обеспечения потребностей пользователей ВОБ уровня 2. Она должна также облегчать дальнейшую доработку, поддержку и обновление в свете изменений конфигурации станции или технических усовершенствований в сфере анализа тяжелых аварий. Возможными пользователями ВОБ уровня 2 являются:

- a) эксплуатирующие организации атомных электростанций (управленческий и оперативный персонал);
- b) проектировщики и поставщики реакторов;

ТАБЛИЦА 10. ВОПРОСЫ, ВЫЗЫВАЮЩИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В ПАРАМЕТРАХ ИСТОЧНИКОВ ВЫБРОСОВ

-
- Неопределенности, связанные с процессами повреждения активной зоны и поведением защитной оболочки (см. таблицу 7)
 - Влияние облучения (выгорания) топлива на скорость высвобождения радиоактивных материалов из топлива
 - Химические формы летучих и полуметучих веществ
 - Химические взаимодействия с топливом, нейтронными поглотителями и конструкционными материалами в ходе деградации активной зоны.
 - Скорость отложения радиоактивных материалов и аэрозолей на поверхностях контура теплоносителя реактора
 - Отложение радиоактивных материалов в трубопроводах и других компонентах при аварийных последовательностях с байпасом защитной оболочки
 - Высвобождение радиоактивных материалов и аэрозолей при взаимодействии расплава активной зоны с бетоном
 - Химические процессы при взаимодействии расплава активной зоны с бетоном
 - Взаимодействие между сгорающим водородом или радикалами во фронте горения и радиоактивными материалами в воздухе
 - Эффективность очистки аэрозолей и паров в бассейнах понижения давления, на ледяных подушках или в барботажных колоннах
 - Водно-химические характеристики радиоактивных материалов, уловленных в водных бассейнах
 - Вторичное испарение и вторичный подъем радиоактивных материалов от поверхностей
 - Химическое разложение аэрозолей радиоактивных материалов
-

- с) эксперты;
- д) регулирующие органы и лица или организации, обеспечивающие техническую поддержку;
- е) прочие правительственные органы;
- ф) общественность.

7.4. Документация должна быть хорошо структурирована, понятна, лаконична и доступна для внимательного анализа читателей и экспертов, включая лиц, проводящих экспертное рассмотрение. Кроме того, следует предусматривать возможность несложного обновления документации ВОБ уровня 2 для поддержания концепции текущей ВОБ и с целью выполнения Требования 24 [2] относительно сохранения актуальности оценки безопасности при ВОБ уровня 2 и Требования 12 [2] относительно проведения ВОБ уровня 2 на всех стадиях жизненного цикла станции. Поэтому также необходимо обеспечивать возможность расширения, с минимальными усилиями, сферы охвата интересующей ВОБ и ее использования для дополнительных применений. Основопологающие допущения, исключения, ограничения и ключевые особенности являются неотъемлемыми элементами документации ВОБ уровня 2, которые следует четко указывать.

7.5. Выводы должны быть четкими и должны отражать не только основные общие результаты, но и обращать особое внимание на выводы, полученные в результате анализа неопределенностей, связанных с явлениями, моделями и базами данных, и сопутствующих анализов. Влияние лежащих в основе допущений, неопределенностей и консерватизма в анализах и методиках на результаты ВОБ уровня 2 следует демонстрировать посредством представления результатов исследований чувствительности.

7.6. Если применялись критерии отбора для исключения аварийных последовательностей с низкой частотой возникновения из последующего анализа, например, из выходных данных ВОБ уровня 1, или при определении состояний повреждения станции, то следует оценивать влияние такого «отсечения» и представлять оценку вместе с окончательными результатами ВОБ уровня 2.

7.7. В докладе о ВОБ уровня 2 следует документально зафиксировать важные выводы, сделанные в ходе ВОБ уровня 2, в том числе:

- а) выявленные проектные или эксплуатационные уязвимости;
- б) основные действия оператора по смягчению тяжелых аварий;

- c) потенциальные преимущества различных инженерных систем безопасности;
- d) области возможного усовершенствования эксплуатации или оборудования станции и в частности защитной оболочки.

7.8. На этой стадии результаты ВОБ можно сравнивать с вероятностными критериями безопасности ВОБ уровня 2, если они были заданы. Существующие вероятностные критерии и/или цели безопасности существенно различаются в разных государствах-членах, но наиболее распространенные формы ВОБ уровня 2 включают критерии и/или задачи, связанные с частотой крупных выбросов на ранней стадии аварии и максимально допустимой частотой выбросов различной величины. В то время как порог по частоте крупных выбросов на ранней стадии аварии представляет точечную оценку частоты конкретного неприемлемого выброса, максимально допустимая частота выбросов различной величины расширяет эту концепцию на весь диапазон возможных выбросов.

ОРГАНИЗАЦИЯ ДОКУМЕНТАЦИИ

7.9. Некоторые части документации могут быть предназначены для использования внутри эксплуатирующей организации, тогда как другие части документации могут быть предназначены для широкого внешнего использования. Некоторые пользователи, например общественность, могут воспользоваться, в первую очередь, сводным докладом о ВОБ, в то время как другие могут использовать полную документацию по ВОБ, включая компьютерную модель. Характер и объем информации, подлежащей включению в документацию для внешнего пользования, по сравнению с информацией, предназначенной только для внутренней документации, следует устанавливать группе специалистов ВОБ и рассматривать руководству проекта по ВОБ уровня 2.

7.10. В документацию ВОБ уровня 2 следует включать всю подробную информацию, которая может потребоваться для воспроизведения исследования ВОБ. По возможности, все промежуточные анализы, логические обоснования вероятностных оценок и вспомогательные расчеты следует документально оформлять либо в качестве приложений, либо в качестве внутренних докладов. Все рабочие документы, входные и выходные данные компьютерных кодов, не включенные в официальную документацию для внешнего использования, следует сохранять в прослеживаемом формате.

7.11. Рекомендации по организации документации, представленные в руководстве по безопасности, посвященном ВОБ уровня 1 [4], применимы также и в случае ВОБ уровня 2. Документацию по ВОБ уровня 2 следует разделять на три основные части, а именно:

- 1) сводный доклад;
- 2) основной доклад;
- 3) приложения к основному докладу.

7.12. Сводный доклад следует подготавливать с целью общего описания причин, задач, сферы охвата, допущений, результатов и выводов ВОБ и потенциального влияния на проект, эксплуатацию и техническое обслуживание станции. Сводный доклад предназначен в основном для широкой аудитории специалистов по безопасности реакторов и должен предоставлять возможность для проведения рассмотрения высокого уровня. Прочие аспекты сводного доклада описаны в [4].

7.13. В сводном докладе следует также представлять краткое содержание основного доклада, в качестве указания для рецензентов разделов, где содержатся дополнительные сведения и вспомогательные анализы. Сводный доклад следует подготавливать специалисту, имеющему прекрасное представление обо всем исследовании ВОБ. Доклад следует оформлять после подготовки и проверки всей документации руководителями отдельных задач и/или аналитиками с точки зрения ее корректности и полноты.

7.14. В основном докладе следует обеспечивать четкое и доступное для прослеживания представление всего исследования ВОБ, включая четкие формулировки всех допущений, обоснований и специфических для станции аспектов, влияющих на результаты⁸.

7.15. Примерная структура документации ВОБ уровня 2 представлена в Приложении III.

⁸ Основной доклад предназначен для использования аналитиками, специализирующимися в области ВОБ и экспертами, выполняющими экспертное рассмотрение. В основной доклад и все приложения к нему следует включать достаточную информацию для полной поддержки выводов ВОБ уровня 2.

8. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОБ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ

8.1. Данный раздел содержит рекомендации по выполнению Требования 23 публикации [2], касающегося использования оценки безопасности применительно к ВОБ уровня 2. ВОБ применяется при проектировании и эксплуатации атомных электростанций во многих государствах в качестве дополнения к результатам, полученным традиционными методами оценки безопасности. Во многих применениях ВОБ используются результаты ВОБ уровня 1 (см. [4]), но часто также требуются результаты анализа ВОБ уровня 2. Нижеследующий перечень включает некоторые успешные примеры применений ВОБ уровня 2; следует отметить, что эти применения ВОБ уровня 2 не обязательно используются в каждом государстве:

- a) сравнение результатов ВОБ уровня 2 с вероятностными критериями для определения того, является ли достаточным общий уровень безопасности станции;
- b) оценка проекта станции для выявления вероятных уязвимостей при смягчении тяжелых аварий;
- c) разработка руководств по управлению тяжелыми авариями, которые можно применять после повреждения активной зоны;
- d) использование параметров источника выбросов для предоставления входных данных при планировании действий в аварийных ситуациях;
- e) использование параметров источника выбросов и частот выбросов для определения последствий за пределами площадки (ВОБ уровня 3);
- f) определение приоритетов исследований вопросов, связанных с тяжелыми авариями;
- g) использование ряда других применений ВОБ в сочетании с результатами ВОБ уровня 1.

СФЕРА ОХВАТА И УРОВЕНЬ ДЕТАЛИЗАЦИИ ВОБ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЙ

8.2. Следует обеспечивать, чтобы сфера охвата и уровень детализации ВОБ уровня 2 соответствовали предполагаемому использованию или применениям, примеры которых описаны ниже. Например, сфера охвата и уровень детализации ВОБ, предназначенной для оценки частоты крупных выбросов или частоты крупных выбросов на ранней стадии и для получения углубленного представления о потенциальных режимах отказа защитной оболочки, будет отличаться от объема ВОБ уровня 2, назначение которой – предоставить входные данные для планирования действий в аварийных ситуациях или для проведения ВОБ уровня 3. При расчете частот крупных выбросов или частот крупных

выбросов на ранней стадии существует необходимость определения аварийных последовательностей и их частот, при которых выбросы классифицировались бы как «крупные». Однако для целей аварийного планирования или для ВОБ уровня 3 требуется более точно определять параметры источников и частоты выбросов. Кроме того, степень детализации ВОБ должна быть выше, если предполагается использовать модель ВОБ уровня 2 в мониторе риска.

8.3. Для того чтобы быть пригодным к использованию в широком спектре видов использования и применений, ВОБ уровня 2 должна быть основана на полномасштабном ВОБ уровня 1, как описано в [4]. Для этого требуется, чтобы ВОБ уровня 1: (а) включала полный набор внутренних исходных событий, внутренних опасностей, природных и техногенных внешних опасностей; и (б) учитывала все режимы работы станции, включая пуск и работу на мощности, работу на низкой мощности, а также все режимы, возникающие во время останова станции и перегрузки топлива. Это гарантирует, что все выводы ВОБ относительно значимости для риска аварийных последовательностей, конструкций, систем и элементов, ошибок персонала, отказов по общей причине и т. п. основаны на всеобъемлющей, интегрированной модели станции. Если ВОБ уровня 2 основана на ВОБ уровня 1, которая характеризуется более ограниченной сферой охвата или ограниченной степенью детализации, то при применении ВОБ уровня 2 такие ограничения следует учитывать.

8.4. В соответствии с Требованием 24 [2] относительно сохранения актуальности оценки безопасности, требуется постоянно поддерживать и регулярно обновлять ВОБ уровня 2, используемую в том или ином применении, с учетом изменений проекта станции и практики эксплуатации, а также учетом опыта и усовершенствований в технологии, которые могут поставить под сомнение достоверность результатов ВОБ. В отношении ВОБ уровня 2 подобное обновление должно учитывать изменения в предпринимаемых мерах и предоставляемых руководящих материалах по управлению тяжелыми авариями, обновления анализа тяжелых аварий, проведенные в поддержку модели ВОБ уровня 2, и результаты выполненных исследований, которые обеспечивают лучшее понимание явлений, возникающих во время тяжелых аварий.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОБ НА ПРОТЯЖЕНИИ ВСЕГО ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СТАНЦИИ

8.5. ВОБ уровня 2 следует использовать как один из источников входных данных для оценки проекта на протяжении всего жизненного

цикла атомной электростанции. Его следует использовать в процессе проектирования новой станции, чтобы определить, включены в ли проект станции надлежащие средства смягчения тяжелых аварий, причем ответ на этот вопрос следует актуализировать на протяжении этапов строительства и эксплуатации станции.

8.6. ВОБ уровня 2 следует также использовать в качестве источника входных данных для разработки руководящих принципов управления тяжелыми авариями, которые следует иметь в наличии при вводе станции в эксплуатацию.

РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД

8.7. Цель применения риск-ориентированного подхода заключается в том, чтобы при принятии решений по вопросам безопасности применялся сбалансированный подход с комплексным рассмотрением как информации о вероятностных рисках, так и других соответствующих факторов [33].

8.8. В любом из описанных ниже применений ВОБ уровня 2 выводы, полученные в рамках ВОБ, следует использовать в процессе принятия риск-ориентированных решений (решений, учитывающих информацию о риске), с учетом всех релевантных факторов при принятии решений по вопросам, связанным с предотвращением и смягчением тяжелых аварий на станции, а именно:

- a) любых обязательных требований, которые относятся к данному применению ВОБ (что обычно включает законодательные или нормативные требования, которые необходимо соблюдать);
- b) сведений, полученных в результате детерминистического анализа безопасности;
- c) любых других применимых выводов или сведений (которые могут включать анализ затрат и результатов, данные об остаточном ресурсе станции, результаты инспекций, опыт эксплуатации, дозы облучения персонала, которые могут повышаться при внесении необходимых изменений в оборудование станции, вопросы защиты окружающей среды и т.п.).

СРАВНЕНИЕ С ВЕРОЯТНОСТНЫМИ КРИТЕРИЯМИ БЕЗОПАСНОСТИ

8.9. Общие результаты ВОБ уровня 2 следует сравнивать с вероятностными критериями безопасности (если таковые были установлены). Цель такого сравнения заключается в установлении: факта соответствия критериям или целевым уровням риска, либо необходимости введения дополнительных средств предотвращения или смягчения аварий.

8.10. При таком сравнении следует учитывать результаты проведенных анализов чувствительности, а также неопределенности, присущие ВОБ уровня 2. Следует использовать анализы чувствительности и неопределенностей, с тем чтобы указать степень достоверности того, что критерий выполнен/целевой уровень достигнут, а также вероятность того, что он может быть превышен.

8.11. Типовой численный критерий безопасности, задаваемый для ВОБ уровня 2, связан с частотой крупных выбросов или частотой крупных выбросов на ранней стадии. Крупные выбросы означают такие выбросы радиоактивных материалов со станции, в связи с которыми потребовались бы противоаварийные мероприятия за пределами площадки. Уровни выбросов можно задавать различными способами, в том числе следующими:

- a) в виде абсолютных количеств (в беккерелях) наиболее значимых радионуклидов в выбросах;
- b) в качестве доли от общего содержания в активной зоне;
- c) в виде установленной дозы для лица, получившего наибольшее облучение за пределами площадки;
- d) в виде выброса, приводящего к «неприемлемым последствиям».

8.12. В 1999 году Международная консультативная группа по ядерной безопасности (ИНСАГ) предложила вероятностные критерии для крупных выбросов радиоактивных материалов за пределы площадки, для которых требуются краткосрочное реагирование за пределами площадки [34]. Были

предложены следующие критерии⁹. Некоторыми государствами были также установлены подобные численные значения, которые обычно были определены в виде критериев или целевых показателей.

8.13. Кроме того, для будущих атомных электростанций, вместо определения вероятностных критериев ИНСАГ [34] предложила, чтобы цель заключалась «...в практическом устранении аварийных последовательностей, которые могут приводить к крупным радиоактивным выбросам на ранней стадии, при этом тяжелые аварии, которые могут приводить к повреждению защитной оболочки на поздней стадии, могут рассматриваться в процессе проектирования с использованием реалистичных допущений и анализа методом «наилучшей оценки», с тем чтобы их последствия требовали принятия только защитных мер, ограниченных в пространстве и во времени».

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОБ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОЕКТА

8.14. ВОБ уровня 2 следует использовать для проведения оценки безопасности проекта станции. Цель должна состоять в получении углубленного представления о том, как развиваются тяжелые аварии, определении уязвимостей станции и предоставлении входной информации для ответа на вопрос о том, требуются ли какие-либо усовершенствования в проекте станции для предотвращения или смягчения тяжелых аварий, например, установка рекомбинаторов водорода или систем вентиляции с фильтрацией.

⁹ Целевые значения для крупных выбросов за пределы площадки, требующих принятия краткосрочных ответных мер за пределами площадки, составляют 1×10^{-5} на реакторо-год для существующих станций. В [34] не определяется численное значение для крупных радиоактивных выбросов за пределы площадки для будущих станций, но устанавливается следующий качественный критерий: «Еще одной целью для будущих установок является практическое устранение аварийных последовательностей, которые могут приводить к крупным радиоактивным выбросам на ранней стадии, при этом тяжелые аварии, которые могут приводить к повреждению защитной оболочки на поздней стадии, могут рассматриваться в процессе проектирования с использованием реалистичных допущений и анализа методом «наилучшей оценки», с тем чтобы их последствия требовали принятия только защитных мер, ограниченных в пространстве и во времени».

Определение уязвимостей станции

8.15. Применение ВОБ уровня 2 для оценки проекта весьма сходно с применением ВОБ уровня 1, как оно описано в [4]. Помимо расчета общего значения частоты крупных выбросов или частоты крупных выбросов на ранней стадии, компьютерные коды, используемые для разработки модели ВОБ уровня 2 и ее квантификации, позволяют получить и другую информацию, такую как:

- a) частота выбросов в каждой категории;
- b) возможные сочетания отказов (сечений), которые вносят вклад в каждую из категорий выбросов;
- c) функции важности для систем, компонентов и других основных событий, включенных в модель ВОБ. (Это зависит от компьютерного кода, используемого для разработки ВОБ уровня 2, но может включать показатель значимости Fussell-Vesely, цена возрастания риска, цена уменьшения риска, показатель значимости Birnbaum и т.п.).

8.16. Информацию, полученную в рамках ВОБ уровня 2, следует использовать для определения слабых мест в средствах, предусмотренных для предотвращения и смягчения тяжелых аварий. Эта информация может включать сведения о:

- a) значимых режимах отказа первого контура и защитной оболочки;
- b) доминирующих явлениях, ведущих к отказу защитной оболочки (на ранней или поздней стадии);
- c) конструкциях, системах и элементах, которые имеют наибольшую значимость для частоты крупных выбросов или частоты крупных выбросов на ранней стадии.

Следует обращать внимание на внесение в средства, предусмотренные для предотвращения или смягчения тяжелых аварий, усовершенствований, которые позволили бы снизить вклады в общий риск, имеющие наибольшую значимость с точки зрения риска.

8.17. Рассмотренные усовершенствования должны предусматривать введение дополнительных защитных систем и средств смягчения последствий тяжелых аварий. Возможно включение таких дополнительных защитных систем и средств в новый проект или их введение в порядке модернизации существующей станции.

8.18. Результаты ВОБ уровня 2 следует использовать в качестве ресурса для определения того, предусмотрены ли надлежащие средства глубокоэшелонированной защиты. Например, ВОБ может являться основой для определения того, полностью ли учитывается в мероприятиях и руководящих принципах управления авариями четвертый уровень глубокоэшелонированной защиты, определенный в [3].

Сравнение вариантов проектных решений

8.19. При рассмотрении усовершенствований проекта, касающихся мероприятий по управлению авариями, часто имеется ряд возможных вариантов. ВОБ уровня 2 можно использовать для получения информации, позволяющей сравнить эти варианты.

8.20. ВОБ уровня 2 следует использовать для сравнения преимуществ с точки зрения снижения риска при введении подобных дополнительных систем и средств. Способ зависит от сложности рассматриваемых модификаций и может варьироваться от подготовки пересмотренной модели ВОБ до повторной обработки сечений с учетом простых изменений и даже до проведения анализов чувствительности, связанных с проектными решениями. При этом необходимо признать, что некое изменение в проекте вполне может повлиять на всю последовательность смоделированных событий в дереве отказов защитной оболочки или даже изменить основу для оценки некоторых узлов дерева отказов защитной оболочки. Изменения в проекте могут также повлиять на ВОБ уровня 1. При оценке изменений в проекте необходимо выявлять и учитывать конкурирующие воздействия. В качестве примера, модификация системы орошения может улучшить контроль над повышением давления пара, но может нести в себе потенциал возникновения условий для возгорания в определенный временной период, или даже к проблемам, связанным с давлением в защитной оболочке ниже атмосферного.

УПРАВЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫМИ АВАРИЯМИ

8.21. ВОБ уровня 2 следует использовать в качестве основы для оценки мероприятий и действий, которые могут быть предприняты для смягчения воздействий тяжелой аварии после повреждения активной зоны. Цель мероприятий по смягчению последствий заключается в сдерживании развития тяжелой аварии или смягчении её последствий путем предотвращения отказа корпуса реактора или защитной оболочки вследствие аварии и путем контроля переноса и выброса радиоактивных материалов с целью минимизации

последствий за пределами площадки. Примеры мероприятий по смягчению последствий, которые могут проводиться для реакторов с водой под давлением:

- a) открытие предохранительных клапанов компенсатора давления для снижения давления в первом контуре и тем самым предотвращения выброса расплава активной зоны из корпуса реактора под высоким давлением;
- b) добавление воды в защитную оболочку с помощью любых имеющихся в распоряжении устройств после выхода расплава активной зоны из первого контура, с тем чтобы обеспечить механизм охлаждения.

8.22. Результаты ВОБ уровня 2 следует использовать для определения эффективности мер по управлению тяжелыми авариями, которые описаны в руководящих принципах или процедурах управления тяжелыми авариями, независимо от того, были ли они установлены с помощью ВОБ уровня 2 или же каким-либо иным методом.

8.23. При разработке ВОБ уровня 2 следует понимать, что явления, происходящие в ходе тяжелой аварии, имеют высокую степень неопределенности и зачастую взаимосвязаны, в результате чего противоаварийное действие, целью которого является смягчение того или иного конкретного явления, может со значительной вероятностью вызвать другое явление. Примеры этого для реакторов с водой под давлением включают следующее:

- a) сброс давления в первом контуре может предотвратить выброс расплава под высоким давлением, но может также повысить вероятность парового взрыва внутри корпуса;
- b) впрыск воды в защитную оболочку может обеспечить среду для охлаждения расплава активной зоны после того, как произойдет выход расплава из корпуса реактора, но может также повысить вероятность парового взрыва вне корпуса реактора;
- c) включение систем орошения защитной оболочки может являться способом удаления тепла и радиоактивных материалов из атмосферы защитной оболочки, но может также повысить возгораемость атмосферы защитной оболочки вследствие конденсации пара.

Эти взаимозависимости различных явлений, которые могут возникать во время тяжелой аварии, следует выявлять с помощью ВОБ уровня 2 и учитывать их при разработке руководящих принципов управления тяжелыми авариями. Актуализацию ВОБ уровня 2 и обновление руководящих принципов управления тяжелыми авариями следует проводить методом последовательных

приближений с целью обеспечения постепенной оптимизации руководящих принципов управления тяжелыми авариями.

АВАРИЙНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ

8.24. Параметры источника выбросов и частоты выбросов, полученные в рамках ВОБ уровня 2, наряду с расчетами дозы за пределами площадки как функции расстояния, следует использовать в качестве входных данных для выработки планов действий в аварийных ситуациях за пределами площадки. В этом процессе можно определять и использовать одну или несколько базисных аварий.

8.25. Важное требование к ВОБ уровня 2, которую планируется использовать для аварийного планирования, заключается в том, что необходимо точно устанавливать параметры источника выброса с точки зрения количеств выбрасываемых радиоактивных материалов и дополнительных атрибутов.

8.26. Параметры источника и частоты выбросов, полученные в рамках ВОБ уровня 2, можно использовать в качестве входной информации для определения размеров зон аварийного планирования и зоны распространения предварительной информации (с целью выполнения Требования 23 [2] относительно использования оценки безопасности).

ПОСЛЕДСТВИЯ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ПЛОЩАДКИ

8.27. Параметры источника выбросов и частоты выбросов, полученные в рамках ВОБ уровня 2, можно использовать в качестве отправной точки для определения последствий за пределами площадки, которые могут быть вызваны выбросами радиоактивных материалов со станции. Такие последствия за пределами площадки включают воздействие на здоровье лиц из населения и целый спектр последствий, таких как радиоактивное загрязнение почвы, воды, продуктов питания, эвакуация, переселение и т.д.

8.28. Параметры источника выбросов и частоты выбросов, полученные в рамках ВОБ уровня 2, следует использовать в качестве отправной точки для ВОБ уровня 3, проводимого с целью рассмотрения последствий за пределами площадки, которые могут возникать вследствие тяжелой аварии на станции. В сферу охвата ВОБ уровня 2, используемой для этой цели, следует включать

подробную модель переноса радиоактивных материалов и их выброса на станции.

УСТАНОВЛЕНИЕ ПРИОРИТЕТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

8.29. В процессе ВОБ уровня 2 моделируются сложные и весьма тесно связанные между собой явления, которые возникают после тяжелой аварии. Несмотря на то, что было проведено большое число исследований этих явлений, уровень знаний в некоторых областях все еще недостаточен, что приводит к значительному уровню неопределенности в прогнозах ВОБ уровня 2.

8.30. ВОБ уровня 2 следует использовать в качестве основы для выявления областей исследовательской деятельности и установления их приоритетов. Такие исследования следует концентрировать на тех областях неопределенности, которые имеют самую высокую значимость с точки зрения риска.

ПРОЧИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ВОБ

8.31. Как описано в [4] для ВОБ уровня 1, в ряде применений ВОБ уровня 2 следует использовать в сочетании с результатами ВОБ уровня 1. Использование ВОБ уровня 1 в сочетании с ВОБ уровня 2 позволяет получить ценные результаты, дополняющие те, которые могут быть получены с использованием только ВОБ уровня 1, поскольку относительная важность конструкций, систем и элементов для результатов ВОБ уровня 2, которыми являются, среди прочего, частота крупных выбросов или частота крупных выбросов на ранней стадии аварии, обычно бывает иной, чем для результатов ВОБ уровня 1, к которым относится частота повреждения активной зоны.

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- [1] АГЕНТСТВО ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ ОЭСР, ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, ЕВРОПЕЙСКОЕ СООБЩЕСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, МЕЖДУНАРОДНАЯ МОРСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ, МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА, МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, ПАНАМЕРИКАНСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, ПРОГРАММА ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ ПО ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ, ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ, Основоволагающие принципы безопасности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SF-1, МАГАТЭ, Вена (2007).
- [2] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Оценка безопасности установок и деятельности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 4, МАГАТЭ, Вена (2009).
- [3] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Безопасность атомных электростанций: проектирование, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-R-1, МАГАТЭ, Вена (2003).
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. SSG-3, IAEA, Vienna (2010).
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Convention on Nuclear Safety, Legal Series No. 16, IAEA, Vienna (1994).
- [6] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Система управления для установок и деятельности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GS-R-3, МАГАТЭ, Вена (2008).
- [7] KHATIB-RAHBAR, M., et al., A probabilistic approach to quantifying uncertainties in the progression of severe accidents, Nucl. Sci. Eng. **102** (1989) 219.
- [8] BUDNITZ, R.J., et al., Recommendations for Probabilistic Seismic Hazard Analysis: Guidance on Uncertainty and Use of Experts, Rep. NUREG/CR-6372, Lawrence Livermore Natl Lab., CA (1997).
- [9] MEYER, M.A., BOOKER, J.M., Eliciting and analyzing expert judgment: A practical guide, Rep. NUREG/CR-5424, Los Alamos Natl Lab., NM (1990).
- [10] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Evaluation of Uncertainties in Relation to Severe Accidents and Level уровня 2 Probabilistic Safety Analysis, Rep. NEA/CSNI/R(2007)2, OECD, Paris (2007).
- [11] THEOFANOUS, T., YAN, H., "ROAAM: A risk-oriented accident analysis methodology", Probabilistic Safety Assessment and Management (Proc. Int. Conf. Beverly Hills, 1991), Elsevier Science, New York (1991) 1179.
- [12] HARPER, F.T., et al., Evaluation of Severe Accident Risks: Quantification of Major Input Parameters, Rep. NUREG/CR-4551, Vol. 2, Part 4, Sandia Natl Labs, NM (1991).
- [13] MENDOZA, Z.T., FREEMAN, M., LEONARD, M., EUTO, J., HALL, J., Generic Framework for IPE Back-End (Level 2) Analysis, Rep. NSAC-159, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA (1991).

- [14] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Severe Accident Risks: An Assessment for Five U.S. Nuclear Power Plants, Rep. NUREG-1150, US Govt Printing Office, Washington, DC (1990).
- [15] SEHGAL, B.R., Accomplishments and challenges of the severe accident research, Nucl. Eng. Des. **210** (2001) 79.
- [16] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Level 2 PSA Methodology and Severe Accident Management: 1997, Rep. NEA/CSNI/R(97)11, OECD, Paris (1997).
- [17] PILCH, M.M., YAN, H., THEOFANOUS, T.G., The Probability of Containment Failure by Direct Containment Heating in Zion, Rep. NUREG/CR-6075, Suppl. 1, Sandia Natl Labs, NM (1994).
- [18] REMPE, J.L., et al., Light Water Reactor Lower Head Failure Analysis, Rep. NUREG/CR-5642, Idaho Natl Eng. Lab., ID (1993).
- [19] CHU, T.Y., et al., Lower Head Failure Experiments and Analyses, Rep. NUREG/CR5582, Sandia Natl Labs, NM (1998).
- [20] BREITUNG, W., et al., Flame Acceleration and Deflagration-to-Detonation Transition in Nuclear Safety, State-of-the-Art Report by a Group of Experts, Rep. NEA/CSNI/R(2000)7, OECD, Paris (2000).
- [21] GAUNTT, R.O., "An uncertainty analysis for hydrogen generation in station blackout accidents using MELCOR 1.8.5", paper presented at NURETH-11, Int. Top. Mtg on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics, Avignon, 2005.
- [22] HELTON, J.C., Uncertainty and sensitivity analysis techniques for use in performance assessment for radioactive waste disposal, Reliab. Eng. Syst. Saf. **42** (1993) 327–367.
- [23] HAMBY, D.M., A review of techniques for parameter sensitivity analysis of environmental models, Environ. Monit. Assess. **32** (1994) 135–154.
- [24] McKAY, M., MEYER, M., Critique of and limitations on the use of expert judgments in accident consequence uncertainty analysis, Radiat. Prot. Dosim. **90** (2000) 325–330.
- [25] CLEMENT, B., et al., LWR severe accident simulation: synthesis of the results and interpretation of the first Phebus FP experiment FPT0, Nucl. Eng. Des. **226** (2003) 5–82.
- [26] MAAP 4.04 User Guidance, EPRI, May 1994.
- [27] GAUNTT, R.O., et al., MELCOR Computer Code Manuals: Version 1.8.5, Rep. NUREG/CR-6119, Vol. 3, Sandia Natl Labs, NM (2001).
- [28] ANG, M.L., et al., A risk-based evaluation of the impact of key uncertainties on the prediction of severe accident source terms — STU, Nucl. Eng. Des. **209** (2001) 183.
- [29] AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, Standard for Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications: An American National Standard, Rep. ASME RA-Sa уровня 2003, ASME, New York (2003).
- [30] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, A Simplified Approach to Estimating Reference Source Terms for LWR Designs, IAEA-TECDOC-1127, IAEA, Vienna (1999).
- [31] CLÉMENT, B., Towards Reducing the Uncertainties on Source Term Evaluations: an IRSN/CEA/EDF R&D Programme, (2004), <http://www.eurosafe-forum.org>
- [32] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Insights into the Control of the Release of Iodine, Cesium, Strontium and Other Fission Products in the Containment by Severe Accident Management, Rep. NEA/CSNI/R(2000)9, OECD, Paris (2000).

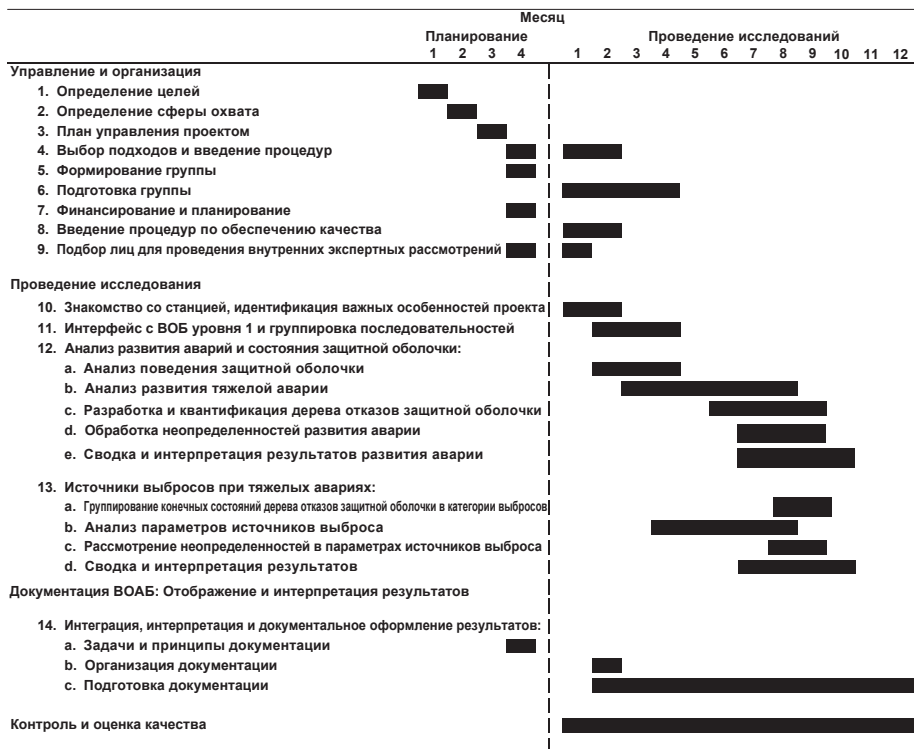
- [33] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Applications of Probabilistic Safety Assessment (PSA) for Nuclear Power Plants, IAEA-TECDOC-1200, IAEA, Vienna (2001).
- [34] INTERNATIONAL NUCLEAR SAFETY ADVISORY GROUP, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants 75-INSAG-3 Rev. 1, INSAG-12, IAEA, Vienna (1999).

Приложение I

ПРИМЕР ТИПОВОГО ГРАФИКА ДЛЯ ВОБ УРОВНЯ 2

I-1. В таблице I-1 представлен упрощенный график проведения ВОБ уровня 2 на основании задач, описанных в настоящем руководстве по безопасности. Указанные периоды представляют минимально ожидаемый срок выполнения задачи с учетом типовой сферы охвата ВОБ, типовых методов анализа и состава групп специалистов-аналитиков. Конкретные аспекты проекта, объем знаний соответствующих явлений, связанных с тяжелыми авариями, наличие соответствующих данных анализа базисных станций и т.п. могут существенно повлиять на сроки выполнения различных заданий. Кроме того, некоторые задания имеют итеративный характер. Определенные задания, возможно, потребуется разбить на несколько стадий, с тем чтобы часть из них можно было повторить после получения результатов по другим заданиям. Это не отражено в таблице, назначение которой – дать лишь некоторое представление о графике.

ТАБЛИЦА I-1. ПРИМЕР ГРАФИКА ВОБ УРОВНЯ 2



Приложение II

КОМПЬЮТЕРНЫЕ КОДЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЙ

ВВЕДЕНИЕ

II-1. Явления, связанные с тяжелыми авариями, сложны и характеризуются многими взаимозависимостями, которые можно исследовать реалистичным образом с использованием комплексных компьютерных кодов. В настоящем приложении представлены информация о типах кодов, обычно используемых в рамках ВОБ уровня 2, а также краткое описание областей их применения.

ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ КОДОВ

Типы кодов

II-2. Коды, моделирующие физическую реакцию активной зоны, системы теплоносителя реактора и защитной оболочки на тяжелые аварии, можно разделить на три типа согласно их возможностям и назначению:

- 1) *механистические* коды обеспечивают расчет определяющих явлений с использованием моделей, основанных на базовых принципах, при этом вычислительные ресурсы имеют второстепенное значение. Механистические коды обычно используются в исследованиях для целей разработки и анализа экспериментов, связанных с тяжелыми авариями. После валидации с учетом существующих экспериментальных условий эти программные коды можно также использовать в качестве эталонов для сличения с ними более простых кодов. Коды такого типа охватывают широкий диапазон технических дисциплин, от поведения поврежденного топлива до выброса радиоактивных материалов, от переноса водородной смеси до процессов смешивания и воспламенения. Примеры кодов для каждой из этих областей представлены в пункте II-9;
- 2) *в интегральных* кодах, предназначенных для стандартного применения в рамках ВОБ, обычно используются упрощенные модели некоторых явлений, благодаря чему расчеты выполняются сравнительно быстро (в течение часов или максимум двух-трех дней с помощью современной вычислительной техники). Поскольку эти коды работают относительно быстро, их можно использовать для оценки реакции станции на множество

различных аварийных последовательностей или можно запускать несколько раз для одной и той же аварийной последовательности в поддержку анализа неопределенностей. Для обеспечения разумного времени исполнения программного кода используется более простой метод моделирования некоторых явлений, чем в случае механистических кодов. Примером применяемого упрощения могут являться процессы, определяющие повреждение и плавление топлива. В механистической программе могут использоваться модели для четкой оценки отдельных эффектов некоторых механизмов повреждения тепловыделяющих элементов, включая разбухание топливных таблеток и вспенивание в связи с расширением газообразных продуктов деления, тепломеханические взаимодействия между разбухшими топливными таблетками и оболочками, локальное распухание в слабых местах в оболочке, изменения в составе и свойствах материалов, связанные с образованием эвтектических смесей, разжижением и оплавлением материалов и т.п. Тот же самый процесс может быть обработан в более упрощенной форме в интегральных программах. Так, «отказ» топливной оболочки (т.е. выброс содержащихся в зазоре радионуклидов) можно отобразить путем определения эффективной температуры разрушения оболочки, тогда как влияние образования эвтектической смеси на характеристики разжижения топлива можно упрощенно учесть посредством снижения эффективной «температуры плавления» топлива. Степень, в которой такие упрощения правильно отражают важные характеристики реальных определяющих явлений, устанавливается путем сравнения расчетных результатов с экспериментальными данными и с результатами параллельных расчетов, проводимых с помощью механистических кодов. Примеры таких сравнений представлены в [II-1] и [II-2];

- 3) *параметрические коды* и алгоритмы позволяют выполнить приблизительные расчеты параметров для определенных применений ВОБ, например, для оценки параметров источника радиоактивного выброса [II-3] или нагрузок на защитную оболочку, вызванных выбросом расплава активной зоны под высоким давлением [II-4]. Такие инструментальные средства обычно используются для установления первичной технической основы, когда требуются большее число прогонов алгоритмов, чем можно разумно обработать, даже с помощью современных кодов ВОБ. Параметрические коды основаны на простых параметрических моделях, которые с целью определения величин параметров осуществляют интерполяцию между фиксированными точками, для которых уже проведены расчеты с помощью более сложного кода. Разумно использовать такие коды для генерации значений неопределенностей, но при этом важно обращать внимание на то, чтобы

параметры, используемые в кодах, а также результаты, получаемые с их помощью, были откалиброваны с помощью более детальных расчетов и экспериментальных данных.

II-3. В прошлом использовался подход, при котором отдельные коды, каждый из которых охватывал конкретную стадию или аспект поведения при тяжелой аварии, стыковались в едином пакете с определенным средством интерфейса для переноса данных между кодами. Однако для повседневных применений ВОБ желательно иметь возможность автоматического переноса информации между элементами программного пакета, поскольку ручной перенос замедляет процесс и может приводить к ошибкам. В расчетных кодах нового поколения для тяжелых аварий существует тенденция к принятию всё более интегрированного и модульного подхода.

Состояние валидации кода

II-4. Верификация и валидация компьютерных кодов являются критически важными механизмами, повышающими степень доверия к ним при применении. Достижение определенных кодов для анализа тяжелых аварий, которое можно было бы с достаточным основанием назвать валидацией, представляет собой довольно трудный процесс. Однако экстремальные условия, которые возникают при тяжелой аварии, и масштаб физической геометрии трудно реализовать в экспериментах. В общем случае процесс валидации основан на матрице валидации, включающей множество модельных экспериментов. Следует соблюдать осторожность при валидации кодов, которая осуществляется путем изменения величин пользовательских параметров до тех пор, пока они не будут разумно соответствовать экспериментальным данным. В лучшем случае этот процесс представляет собой косвенное экспериментальное измерение величин параметров, но не независимую валидацию кода.

Использование компьютерных кодов

II-5. Коды для детерминистического анализа безопасности необходимо разрабатывать таким образом, чтобы аналитик ВОБ уровня 2, достаточно хорошо понимающий в целом явления, происходящие во время аварий, мог уверенно запускать эти коды, не обладая таким же уровнем знаний, как у специалиста, использующего механистический код при работе над конкретным явлением или стадией тяжелой аварии. Однако важно, чтобы аналитик обладал хорошими практическими знаниями систем реактора. Для того, чтобы аналитик мог обоснованно включать программные расчеты в структуру ВОБ уровня 2, он должен в достаточной степени знать следующее:

- а) явления, рассматриваемые в коде, подходы к их моделированию и ограничения;
- б) смысловое значение входных переменных;
- с) смысловое значение выходных переменных.

П-6. Аспект, на который следует обратить внимание, учитывая сложность этих вопросов, заключается в том, что код нельзя рассматривать просто как некий «черный ящик». Пользователю необходимо будет хорошо знать сильные стороны и ограничения кода, который нельзя использовать за пределами диапазона ситуаций и условий, на которые он рассчитан.

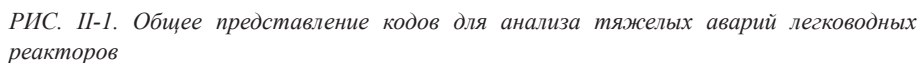
ПРИМЕРЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ КОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЙ

П-7. В данном разделе представлено краткое описание некоторых компьютерных кодов, используемых в настоящее время для ВОБ уровня 2, которые имеют дело с большинством или со всеми явлениями, показанными на Рис. П-1. Приводится также перечень основных механистических кодов.

Интегральные коды

П-8. Интегральные коды моделируют физическую реакцию всей станции на постулированные тяжелые аварии, начиная от исходного события до выбросов радиоактивных материалов в окружающую среду. Диапазон явлений и процессов, моделируемых с помощью таких программ, включает:

- а) термогидравлические процессы в системе первого контура реактора, сооружении защитной оболочки и/или сооружениях для локализации;
- б) ухудшение охлаждения активной зоны, разогрев топлива, окисление оболочек твэлов, деградацию топлива (потерю геометрии твэлов), плавление и перемещение материала активной зоны;
- с) разогрев нижней части корпуса реактора в связи с перемещением топливного материала, тепловую и механическую нагрузку и отказ нижней части корпуса реактора;
- д) перенос материалов активной зоны из корпуса реактора в «полость» защитной оболочки;
- е) термохимические взаимодействия между расплавом активной зоны и бетоном на нижнем основании защитной оболочки и результирующее образование аэрозолей;



- Основные коды данного типа представлены в таблице II-1.

ТАБЛИЦА II-1. ИНТЕГРАЛЬНЫЕ КОДЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЙ

Состояние	Компьютер- ный код	Организа- ция	Концепция и использование
США	МААР4	ЭПРИ	Проведены обширные сравнительные исследования разнообразных экспериментов, реальных фактических событий на станциях и других тепло-гидравлических кодов.
	MELCOR	Национальные лаборатории Сандиа для КЯР	Проведена тщательная валидация на основании экспериментальных данных. Принят группой пользователей во всем мире в регулирующих, исследовательских организациях и энергокомпаниях. Возможность модульного структурирования во взаимозаменяемых пакетах программ с четко определенными интерфейсами.
Франция/ Германия	ASTEC	Институт радиационной защиты и ядерной безопасности и Общество по безопасности реакторов	Базисный код для некоторых европейских исследовательских организаций. Возможность модульного структурирования; валидирован на основании многих экспериментов.
Канада	МААР4- CANDU	Компания «Атомик энерджи оф Кэнада»	Проведены обширные сравнительные исследования разнообразных экспериментов, реальных фактических событий на станциях и других тепло-гидравлических кодов и адаптирован для расчетов активной зоны реакторов CANDU.
Япония	THALES-2	МАГАТЭ	Базисный код для исследовательских организаций в Японии. Возможность модульного структурирования; валидирован на основании многих экспериментов [II-5].

Механистические коды

II-9. Примеры механистических кодов, используемых в последних исследованиях тяжелых аварий, перечислены в таблицах II-2 и II-3. Рассматриваемые явления указаны в этих таблицах. Уровень детализации этих программ обычно превышает уровень, необходимый для большинства ВОБ уровня 2. Тем не менее, их применение иногда требуется при определенных обстоятельствах, например, когда определенные аспекты имеют необычайную важность для установления поведения уникального проекта станции в условиях тяжелой аварии.

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ КОДЫ

II-10. Коды для моделирования деревьев отказов и деревьев событий и прочие моделирующие коды, обычно используемые в ВОБ уровня 1, используются также и в ВОБ уровня 2. В большинстве случаев такие коды адаптированы или улучшены с целью учета определенных уникальных требований применений ВОБ уровня 2, таких, как решение логических моделей с большими вероятностями событий, и расширенные возможности или большее разнообразие методов учета неопределенностей. Подборка компьютерных кодов для ВОБ уровня 1 приведена в [II-4]. Коды, которые были специально разработаны для анализа дерева событий защитной оболочки, обычно вполне хороши для решения феноменологических задач в ВОБ уровня 2, но может потребоваться их адаптация для моделирования поведения систем.

ТАБЛИЦА II-2. МЕХАНИСТИЧЕСКИЕ КОДЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЙ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ЯВЛЕНИЙ ВНУТРИ КОРПУСА РЕАКТОРА

Государство	Компьютерный код	Внутрикорпусные явления			
		Теплогидравлика	Развитие расплавления активной зоны	Высвобождение и перенос радиоактивных материалов в системе теплоносителя реактора	Взаимодействие топлива с теплоносителем и/или паровой взрыв
США	SCDAP-RELAP5 [II-6]	✓	✓	✓	✓
	VICTORIA [II-7]			✓	
	PM-ALPHA/ESPPOSE [II-8]				✓
Германия	ATHLET-CD [II-9]	✓	✓	✓	
Франция	ICARE/CATHARE [II -10]	✓	✓	✓	✓
Япония	IMPACT-SAMPSON [II -11]	✓	✓	✓	
	VESUVIUS [II -12]				✓
	ART Mod.2 [II -13]			✓	

ТАБЛИЦА II-3. МЕХАНИСТИЧЕСКИЕ КОДЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЙ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ЯВЛЕНИЙ ВНЕ КОРПУСА РЕАКТОРА

Страна	Компьютерный код	Явления вне корпуса				
		Выброс расплава под высоким давлением	Взаимодействие расплава активной зоны с бетоном	Высвобождение радиоактивных материалов из обломков активной зоны	Перенос радиоактивных материалов в защитной оболочке	Смешивание водорода
США	CONTAIN [II-14]	√	√	√	√	√
Германия	COCOSYS [II-15]		√	√		√
США/Германия	GASFLOW [II-16]					√
Япония	ART Mod.2 [II-13]				√	

^a Упрощенная трактовка вопросов, касающихся инструментальных средств вычислительной динамики текучих сред, например, реализованных в расчетном коде GASFLOW.

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ К ПРИЛОЖЕНИЮ II

- [II-1] JONES, A.V., et al., Validation of severe accident codes against Phebus FP for plant applications: Status of the PHEBEN2 project, Nucl. Eng. Des. **221** (2003) 225–240.
- [II-2] ADROGUER, B., et al., Core Loss During a Severe Accident (COLOSS Project) Final Synthesis Report, Rep. IRSN/DPAM/Dir/04-0008, SAM-COLOSS-P078, Nucl. Eng. Des. **221** (2003) S55–76.
- [II-3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, A Simplified Approach to Estimating Reference Source Terms for LWR Designs, IAEA-TECDOC-1127, IAEA, Vienna (1999).
- [II-4] LEONARD, M.T., Rough estimates of severe accident containment loads accompanying vessel breach in BWRs, Nucl. Technol. **108** (1994) 320–337.
- [II-5] KAJIMOTO, M., MURAMATSU, K., WATANABE, N., “Development of THALES-2, a computer code for coupled thermal-hydraulics and fission product transport analysis for severe accident at LWRs and its application to analysis of fission product revaporization phenomena”, Safety of Thermal Reactors (Proc. ANS Int. Top. Mtg, Portland, 1991), American Nuclear Society, La Grange Park, IL (1991) 584.
- [II-6] IDAHO NATIONAL ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL LABORATORY, SCDAP/RELAP5-3D Code Manual, Rep. INEEL/EXT-02-00589, 5 Vols, Rev. 2.2, INEEL, ID (2003).
- [II-7] HEAMES, T.J., et al., VICTORIA: A Mechanistic Model of Radionuclide Behavior in the Reactor Coolant System Under Severe Accident Conditions, Rep. NUREG/CR5545, Rep. SAND90-0756, Rev. 1, Sandia Natl Labs, US Govt Printing Office, Washington, DC (1992).
- [II-8] YUEN, W.W., et al., The verification basis of the PM-ALPHA [and ESPROSE.m] code, Nucl. Eng. Des. **189** (1999) 59–138.
- [II-9] TRAMBAUER, K., et al., ATHLET-CD User’s Manual, GRS-P-4, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH (GRS), Cologne (2004).
- [II-10] BERTRAND, F., SEILER, N., “Analysis of QUENCH tests including a B4C control rod with ICARE/CATHARE and B4C oxidation modelling assessment”, paper presented at NURETH-11, Int. Top. Mtg on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics, Avignon, 2005.
- [II-11] NAKADAI, Y., et al., “Integral severe accident analysis of light water nuclear power plants by IMPACT-SAMPSON code”, paper presented at NURETH-10, Int. Top. Mtg on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics, Seoul, 2003.
- [II-12] VIEROW, K., Development of the VESUVIUS code for steam explosion analysis, Jap. J. Multiphase Flow **12** (3) (1998) 242–248, 358–364.
- [II-13] KAJIMOTO, M., MURAMATSU, K., “The Validation of the ART Code through Comparison with NSPP Experiments in the Steam-Air Environment,” Aerosol Behavior and Thermal-Hydraulics in the Containment (Proc. OECD/NEA Workshop Fontenay-aux-Roses, 1990), OECD, Paris (1990) 145.
- [II-14] MURATA, K.K., et al., Code Manual for CONTAIN 2.0: A Computer Code for Nuclear Reactor Containment Analysis, Rep. NUREG/CR-6533, Rep. SAND97-1735, Sandia Natl Labs, NM (1997).

- [II-15] ALLELEIN, H.J., et al., Entwicklung und Verifikation eines Containment-Codesystems (COCOSYS) und eines deutsch-französischen Integralcodes (ASTEC), GRS-A уровня 2736, GRS-A уровня 2737, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH (GRS), Cologne (1999).
- [II-16] ROYL, P., et al., “Status of development, validation, and application of the 3D CFD code GASFLOW at FZK”, Use of Computational Fluid Dynamics Codes for Safety Analysis of Nuclear Reactor Systems, IAEA-TECDOC-1379, IAEA, Vienna (2003).

Приложение III

ОБРАЗЕЦ СТРУКТУРЫ ДОКУМЕНТАЦИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОБ УРОВНЯ 2

S. Сводный доклад

- S1. Введение
- S2. Общее описание целей и задач исследования
- S3. Общее описание подхода
- S4. Результаты для режимов и вероятностей отказа защитной оболочки
- S5. Источники радиоактивных выбросов и частоты выбросов (дополнительные интегральные функции распределения)
- S6. Сводное описание уязвимостей станции в отношении тяжелых аварий, интерпретация результатов
- S7. Выводы и рекомендации
- S8. Возможные меры по снижению рисков
- S9. Организация основного доклада

M. Основной доклад

- M1. Введение
 - M1.1 Исходная информация
 - M1.2 Цели
 - M1.3 Объем исследования
 - M1.4 Организация проекта и управление проектом
 - M1.5 Состав исследовательской группы
 - M1.6 Общее описание подхода
 - M1.7 Структура доклада
 - M2. Описание проекта станции и защитной оболочки
 - M2.1 Конструктивные особенности станции и защитной оболочки, влияющие на тяжелые аварии
 - M2.2 Эксплуатационные характеристики
 - M2.3 Описание модификаций станции и модификаций систем защитной оболочки (если имеются)
 - M3. Связь с ВОБ уровня 1
 - M3.1 Группирование аварийных последовательностей и описание атрибутов
 - M3.2 Состояния повреждения станции для внутренних исходных событий и соответствующие неопределенности
 - M3.3 Состояния повреждения станции для внешних исходных событий и соответствующие неопределенности
 - M3.4 Состояния повреждения станции для других режимов работы на мощности и соответствующие неопределенности
 - M4. Анализ конструктивных характеристик защитной оболочки
 - M4.1 Описание конструкции и режимов отказа (повреждения) защитной оболочки
-

-
- M4.2 Подход к анализу конструкций
 - M4.3 Реакция конструкции и результаты расчета неустойчивости
 - M4.4 Общее представление неопределенностей и/или кривых характеристик неустойчивости защитной оболочки
 - M4.5 Влияние внешних событий
 - M5. Анализ развития аварии и защитной оболочки
 - M5.1 Анализ развития тяжелой аварии
 - M5.1.1 Сфера охвата анализа
 - M5.1.2 Метод анализа (коды, модели и т.д.)
 - M5.1.3 Общее описание результатов точечной оценки для анализируемых состояний повреждения станции
 - M5.2 Деревья событий развития аварии/деревья событий защитной оболочки
 - M5.2.1 Структура дерева событий защитной оболочки
 - M5.2.2 Процедуры эксплуатации и восстановительные мероприятия
 - M5.2.3 Процесс квантификации дерева событий защитной оболочки
 - M5.2.4 Группирование конечных состояний дерева событий защитной оболочки
 - M5.2.5 Рассмотрение неопределенностей
 - M5.2.6 Результаты
 - M5.2.6.1 С-матрица точечной оценки
 - M5.2.6.2 Неопределенности в значениях вероятности отказов
 - M5.2.6.3 Интерпретация результатов
 - M6. Источники выбросов при аварии
 - M6.1 Группирование радиоактивных материалов
 - M6.2 Метод анализа (коды, модели и т.д.)
 - M6.3 Общее описание результатов точечной оценки для анализируемых состояний повреждения станции
 - M6.4 Трактовка неопределенностей
 - M6.5 Результаты
 - M6.5.1 Характеристики источников выбросов при точечной оценке
 - M6.5.2 Неопределенности в характеристиках источников выбросов
 - M6.5.3 Интерпретация результатов
 - M7. Анализ чувствительности и значимости
 - M7.1 Идентификация вопросов чувствительности
 - M7.2 Результаты анализа чувствительности
 - M7.3 Ранжирование элементов, систем и элементов по степени значимости
 - M8. Выводы
 - M8.1 Основные выводы относительно характеристик тяжелых аварий и реакции защитной оболочки
-

-
- M8.2 особенности и внутренние возможности смягчения последствий аварий
 - M8.3 Выводы, касающиеся целей ВОБ

A. Дополнения

- A1. Основа для расчета неустойчивости конструкции защитной оболочки
 - A2. Основа для квантификации дерева событий защитной оболочки
 - A3. Результаты детерминистических анализов тяжелых аварий
 - A3.1 Нагрузки защитной оболочки
 - A3.2 Параметры источника выбросов при аварии
 - A4. Основа для вероятностного распределения и диапазоны неопределенных параметров
 - A5. Подробные результаты анализа неопределенностей и/или анализа чувствительности
-

СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ

Alzbutas, R.	Литовский энергетический институт, Литва
Ang, M.	«Э.ОН», Соединенное Королевство
Bagdonas, A.	Игналинская атомная электростанция, Литва
Boneham, P.	«Якобсен инжиниринг», Соединенное Королевство
Bryant, R.	«Роллс-Ройс», Соединенное Королевство
Burgazzi, L.	ЭНЕА, Италия
Быков, М.	ОКБ «Гидропресс», Российская Федерация
El-Shanawany, M.	Международное агентство по атомной энергии
Elter, J.	Атомная электростанция «Пакш», Венгрия
Goertz, R.	Федеральная служба радиационной защиты, Германия
Hari, V.	«Ньюклеар пауэр корпорейшн оф Индия», Индия
Hessel, P.	Комиссия по ядерной безопасности Канады, Канада
Hustak, S.	Институт ядерных исследований, Ржеж, Чешская Республика
Kajimoto, M.	Организация по безопасности ядерной энергетики Японии, Япония
Kivirinta, T.	«Фортум пауэр энд хит ои», Финляндия
Kompella, D.	«Релтех консалтинг», Индия
Кузьмина, И.	Международное агентство по атомной энергии
Kovacs, Z.	«Релко лтд.», Словакия
Leonard, M.	«Дайкода ЛЛК», Соединенные Штаты Америки
Loeffler, H.	Общество по безопасности установок и реакторов, Германия

Lopez, A.	Национальная комиссия по ядерной безопасности и гарантиям, Мексика
Любарский, А.	Международное агентство по атомной энергии
Palmaerts, S.	«Трактебель инжиниринг», Бельгия
Parry, G.	Комиссия по ядерному регулированию, Соединенные Штаты Америки
Rogers, P.	«Роллс-Ройс», Соединенное Королевство
Shepherd, C.	«Корпорайт риск ассошиэйтс», Соединенное Королевство
Sorel, V.	ЭДФ/ДПИ/ДИН/СЕПТЕН, Франция
Taglioni, A.	ЭНЕА, Италия
Yang, Zhichao	Китайский научно-исследовательский институт технологий ядерной энергетики, Китай
Yllera, J.	Международное агентство по атомной энергии
Youngchuay, U.	Таиландский институт ядерных технологий, Таиланд
Zeng, Yi	Комиссия по ядерной безопасности Канады, Канада
Zhao, Bo	Пекинский институт ядерной техники, Китай

ОРГАНЫ, УЧАСТВУЮЩИЕ В ОДОБРЕНИИ НОРМ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ

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. Двумя звездочками отмечены заместители.

Комиссия по нормам безопасности

Австралия: Loy, J.; Аргентина: González, A.J.; Бельгия: Samain, J.-P.; Бразилия: Vinhas, L.A.; Вьетнам: Le-chi Dung; Германия: Majer, D.; Египет: Barakat, M.; Израиль: Levanon, I.; Индия: Sharma, S.K.; Испания: Barceló Vernet, J.; Канада: Jammal, R.; Китай: Liu Hua; Корея, Республика: Choul-Но Yun; Литва: Maksimovas, G.; Пакистан: Rahman, M.S.; Российская Федерация: Адамчик, С.; Соединенное Королевство: Weightman, M.; Соединенные Штаты Америки: Virgilio, M.; Украина: Миколайчук, Е.; Финляндия: Laaksonen, J.; Франция: Lacoste, A.-C. (председатель); Швеция: Larsson, С.М.; Южная Африка: Magugumela, M.T.; Япония: Fukushima, A.; Агентство по ядерной энергии ОЭСР: Yoshimura, U.; Европейская комиссия: Faross, P.; Консультативная группа по вопросам физической ядерной безопасности: Hashmi, J.A.; МАГАТЭ: Delattre, D. (координатор); Международная группа по ядерной безопасности: Meserve, R.; Международная комиссия по радиологической защите: Holm, L.-E.; председатели комитетов по нормам ядерной безопасности: Brach, E.W. (ТРАНСЕК); Magnusson, S. (РАСЕК); Pather, T. (БАСЕК); Vaughan, G.J. (НУСЕК).

Комитет по нормам ядерной безопасности

*Австралия: Le Cann, G.; Австрия: Sholly, S.; Алжир: Merrouche, D.; Аргентина: Waldman, R.; Бельгия: De Boeck, B.; *Болгария: Gledachev, Y.; Бразилия: Gromann, A.; Венгрия: Adorján, F.; Гана: Emi-Reynolds, G.; Германия: Wassilew, C.; *Греция: Camarinopoulos, L.; Египет: Ibrahim, M.; Израиль: Hirshfeld, H.; Индия: Vaze, K.; Индонезия: Antariksawan, A.; Иран, Исламская Республика: Asgharizadeh, F.; Испания: Zarzuela, J.; Италия: Bava, G.; Канада: Rzentkowski, G.; *Кипр: Demetriades, P.; Китай: Jingxi Li; Корея, Республика: HyunKoon Kim; Ливийская Арабская Джамахирия: Abuzid, O.; Литва: Demčenko, M.; Малайзия: Azlina Mohammed Jais;*

Марокко: Soufi, I.; Мексика: Carrera, A.; Нидерланды: van der Wiel, L.; Пакистан: Habib, M.A.; Польша: Jurkowski, M.; Российская Федерация: Баранаев, Ю.; Румыния: Biro, L.; Словакия: Uhrík, P.; Словения: Vojnovič, D.; Соединенное Королевство: Vaughan, G.J. (председатель); Соединенные Штаты Америки: Mayfield, M.; Тунис: Baccouche, S.; Турция: Bezdegumeli, U.; Украина: Шумкова, Н.; Уругвай: Nader, A.; Финляндия: Järvinen, M.-L.; Франция: Feron, F.; Хорватия: Valčić, I.; Чешская Республика: Šváb, M.; Швейцария: Flury, P.; Швеция: Hallman, A.; Южная Африка: Leotwane, W.; Япония: Kanda, T.; Агентство по ядерной энергии ОЭСР: Reig, J.; *Всемирная ядерная ассоциация: Борисова, И.; Европейская комиссия: Vigne, S.; МАГАТЭ: Feige, G. (координатор); Международная организация по стандартизации: Sevestre, B.; Международная электротехническая комиссия: Bouard, J.-P.; ФОРАТОМ: Fourest, B.

Комитет по нормам радиационной безопасности

Австралия: Melbourne, A.; *Австрия: Karg, V.; *Алжир: Chelbani, S.; Аргентина: Massera, G.; Бельгия: van Bladel, L.; *Болгария: Katzarska, L.; Бразилия: Rodriguez Rochedo, E.R.; Венгрия: Koblinger, L.; Гана: Amoako, J.; Германия: Helming, M.; *Греция: Kamenopoulou, V.; Дания: Øhlenschläger, M.; Египет: Hassib, G.M.; Израиль: Koch, J.; Индия: Sharma, D.N.; Индонезия: Widodo, S.; Иран, Исламская Республика: Kardan, M.R.; Ирландия: Colgan, T.; Исландия: Magnusson, S. (председатель); Испания: Amor Calvo, I.; Италия: Bologna, L.; Канада: Clement, C.; *Кипр: Demetriades, P.; Китай: Huating Yang; Корея, Республика: Byung-Soo Lee; *Куба: Betancourt Hernandez, L.; *Латвия: Salmins, A.; Ливийская Арабская Джамахирия: Busitta, M.; Литва: Mastauskas, A.; Малайзия: Hamrah, M.A.; Марокко: Tazi, S.; Мексика: Delgado Guardado, J.; Нидерланды: Zuur, C.; Норвегия: Saxebol, G.; Пакистан: Ali, M.; Парагвай: Romero de Gonzalez, V.; Польша: Merta, A.; Португалия: Dias de Oliveira, A.M.; Российская Федерация: Савкин, М.; Румыния: Rodna, A.; Словакия: Jurina, V.; Словения: Sutej, T.; Соединенное Королевство: Robinson, I.; Соединенные Штаты Америки: Lewis, R.; *Таиланд: Suntarapai, P.; Тунис: Chékir, Z.; Турция: Окуар, Н.В.; Украина: Павленко, Т.; *Уругвай: Nader, A.; Филиппины: Valdezco, E.; Финляндия: Markkanen, M.; Франция: Godet, J.-L.; Хорватия: Kralik, I.; Чешская Республика: Petrova, K.; Швейцария: Piller, G.; Швеция: Almen, A.; Эстония: Lust, M.; Южная Африка: Olivier, J.H.I.; Япония: Kiryu, Y.; Агентство по ядерной энергии ОЭСР: Lazo, T.E.; Всемирная организация здравоохранения: Carr, Z.; Всемирная ядерная ассоциация: Saint-Pierre, S.; Европейская комиссия: Janssens, A.; МАГАТЭ: Boal, T. (координатор); Международная ассоциация

поставщиков и производителей источников: Fasten, W.; Международная комиссия по радиологической защите: Valentin, J.; Международная организация по стандартизации: Rannou, A.; Международная электротехническая комиссия: Thompson, I.; Международное бюро труда: Niu, S.; Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации: Crick, M.; Панамериканская организация здравоохранения: Jiménez, P.; Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций: Byron, D.

Комитет по нормам безопасности перевозки

Австралия: Sarkar, S.; *Австрия:* Kirchnawy, F.; *Аргентина:* López Vietri, J.; ***Сапародона:* N.M.; *Бельгия:* Cottens, E.; *Болгария:* Bakalova, A.; *Бразилия:* Xavier, A.M.; *Венгрия:* Sáfár, J.; *Гана:* Emi-Reynolds, G.; *Германия:* Rein, H.; **Нитше:* F.; ***Альтер:* U.; **Греция:* Vogiatzi, S.; *Дания:* Breddam, K.; *Египет:* El-Shinawy, R.M.K.; *Израиль:* Koch, J.; *Индия:* Agarwal, S.P.; *Индонезия:* Wisnubroto, D.; *Иран, Исламская Республика:* A.; **Емамжомех:* A.; *Ирландия:* Duffy, J.; *Испания:* Zamora Martin, F.; *Италия:* Trivelloni, S.; ***Орсини:* A.; *Канада:* Régimbald, A.; **Кун:* Demetriades, P.; *Китай:* Xiaoping Li; *Корея, Республика:* Dae-Hyung Cho; **Куба:* Quevedo Garcia, J.R.; *Ливийская Арабская Джамахирия:* Kekli, A.T.; *Литва:* Statkus, V.; *Малайзия:* Sobari, M.P.M.; ***Хусайн:* Z.A.; **Марокко:* Allach, A.; *Мексика:* Bautista Arteaga, D.M.; ***Делгадо Гвардадо:* J.L.; *Нидерланды:* Ter Morshuizen, M.; **Новая Зеландия:* Ardouin, C.; *Норвегия:* Hornkjøl, S.; *Пакистан:* Rashid, M.; **Парагвай:* More Torres, L.E.; *Польша:* Dziubiak, T.; *Португалия:* Buxo da Trindade, R.; *Российская Федерация:* Бучельников, А.Е.; *Соединенное Королевство:* Sallit, G.; *Соединенные Штаты Америки:* Boyle, R.W.; Brach, E.W. (председатель); *Таиланд:* Jerachanchai, S.; *Турция:* Ertürk, K.; *Украина:* Лопатин, С.; *Уругвай:* Nader, A.; **Кабрал:* W.; *Финляндия:* Lahkola, A.; *Франция:* Landier, D.; *Хорватия:* Belamarić, N.; *Чешская Республика:* Ducháček, V.; *Швейцария:* Krietsch, T.; *Швеция:* Häggblom, E.; ***Свахн:* B.; *Южная Африка:* Hinrichsen, P.; *Япония:* Hanaki, I.; *Всемирная ядерная ассоциация:* Горлин, С.; *Всемирный институт по ядерным перевозкам:* Green, L.; *Всемирный почтовый союз:* Bowers, D.G.; *Европейская комиссия:* Binet, J.; *Европейская экономическая комиссия Организации Объединенных Наций:* Kervella, O.; *МАГАТЭ:* Stewart, J.T. (координатор); *Международная ассоциация воздушного транспорта:* Brennan, D.; *Международная ассоциация поставщиков и производителей источников:* Miller, J.J.; ***Раухан:* K.; *Международная морская организация:* Rahim, I.; *Международная организация гражданской авиации:*

Rooney, K.; *Международная организация по стандартизации*: Malesys, P.; *Международная федерация ассоциаций линейных пилотов*: Tisdall, A.; **Gessl, M.

Комитет по нормам безопасности отходов

Австралия: Williams, G.; **Австрия*: Fischer, H.; *Алжир*: Abdenacer, G.; *Аргентина*: Biaggio, A.; *Бельгия*: Blommaert, W.; **Болгария*: Simeonov, G.; *Бразилия*: Tostes, M.; *Венгрия*: Czoch, I.; *Гана*: Faanu, A.; *Германия*: Götz, C.; *Греция*: Tzika, F.; *Дания*: Nielsen, C.; *Египет*: Mohamed, Y.; *Израиль*: Dody, A.; *Индия*: Rana, D.; *Индонезия*: Wisnubroto, D.; *Ирак*: Abbas, H.; *Иран, Исламская Республика*: Assadi, M.; **Заргхами*, R.; *Испания*: Sanz Aludan, M.; *Италия*: Dionisi, M.; *Канада*: Howard, D.; *Кипр*: Demetriades, P.; *Китай*: Zhimin Qu; *Корея, Республика*: Won-Jae Park; *Куба*: Fernandez, A.; **Латвия*: Salmins, A.; *Ливийская Арабская Джамахирия*: Elfawares, A.; *Литва*: Paulikas, V.; *Малайзия*: Sudin, M.; **Марокко*: Barkouch, R.; *Мексика*: Aguirre Gómez, J.; *Нидерланды*: van der Shaaf, M.; *Пакистан*: Mannan, A.; **Парагвай*: Idoyaga Navarro, M.; *Польша*: Wlodarski, J.; *Португалия*: Flausino de Paiva, M.; *Словакия*: Homola, J.; *Словения*: Mele, I.; *Соединенное Королевство*: Chandler, S.; *Соединенные Штаты Америки*: Camper, L.; **Таиланд*: Supaokit, P.; *Тунис*: Bousselmi, M.; *Турция*: Özdemir, T.; *Украина*: Макаровская, О.; **Уругвай*: Nader, A.; *Финляндия*: Hutri, K.; *Франция*: Rieu, J.; *Хорватия*: Trifunovic, D.; *Чешская Республика*: Lietava, P.; *Швейцария*: Wanner, H.; *Швеция*: Frise, L.; *Эстония*: Lust, M.; *Южная Африка*: Pather, T. (председатель); *Япония*: Matsuo, H.; *Агентство по ядерной энергии ОЭСР*: Riotte, H.; *Всемирная ядерная ассоциация*: Saint-Pierre, S.; *Европейская комиссия*: Necheva, C.; *МАГАТЭ*: Siraky, G. (координатор); *Международная ассоциация поставщиков и производителей источников*: Fasten, W.; *Международная организация по стандартизации*: Hutson, G.; *Нормы безопасности европейских ядерных установок*: Lorenz, B.; **Нормы безопасности европейских ядерных установок*: Zaiss, W.



IAEA

Международное агентство по атомной энергии

№ 23

ЗАКАЗ В СТРАНАХ

В указанных странах платные публикации МАГАТЭ могут быть приобретены у перечисленных ниже поставщиков или в крупных книжных магазинах.

Заказы бесплатных публикаций следует направлять непосредственно в МАГАТЭ. Контактная информация приводится в конце настоящего перечня.

АВСТРАЛИЯ

DA Information Services

648 Whitehorse Road, Mitcham, VIC 3132, AUSTRALIA

Телефон: +61 3 9210 7777 • Факс: +61 3 9210 7788

Эл. почта: books@dadirect.com.au • Веб-сайт: <http://www.dadirect.com.au>

БЕЛЬГИЯ

Jean de Lannoy

Avenue du Roi 202, 1190 Brussels, BELGIUM

Телефон: +32 2 5384 308 • Факс: +32 2 5380 841

Эл. почта: jean.de.lannoy@euronet.be • Веб-сайт: <http://www.jean-de-lannoy.be>

КАНАДА

Renouf Publishing Co. Ltd.

5369 Canotek Road, Ottawa, ON K1J 9J3, CANADA

Телефон: +1 613 745 2665 • Факс: +1 643 745 7660

Эл. почта: order@renoufbooks.com • Веб-сайт: <http://www.renoufbooks.com>

Bernan Associates

4501 Forbes Blvd, Suite 200, Lanham, MD 20706-4391, USA

Телефон +1 800 8653457 • Факс: 1 800 865 3450

Эл. почта: orders@bernan.com • Веб-сайт: <http://www.bernan.com>

ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА

Suweco CZ, spol. S.r.o.

Klecakova 347, 180 21 Prague 9, CZECH REPUBLIC

Телефон +420 242 459 202 • Факс: +420 242 459 203

Эл. почта: nakup@suweco.cz • Веб-сайт: <http://www.suweco.cz>

ФИНЛЯНДИЯ

Akateeminen Kirjakauppa

PO Box 128 (Keskuskatu 1), 00101 Helsinki, FINLAND

Телефон: +358 9 121 41 • Факс: +358 9 121 4450

Эл. почта: akatilaus@akateeminen.com • Веб-сайт: <http://www.akateeminen.com>

ФРАНЦИЯ

Form-Edit

5 rue Janssen, PO Box 25, 75921 Paris CEDEX, FRANCE

Телефон: +33 1 42 01 49 49 • Факс: +33 1 42 01 90 90

Эл. почта: fabien.boucard@formedit.fr • Веб-сайт: <http://www.formedit.fr>

Lavoisier SAS

14 rue de Provigny, 94236 Cachan CEDEX, FRANCE

Телефон: +33 1 47 40 67 00 • Факс: +33 1 47 40 67 02

Эл. почта: livres@lavoisier.fr • Веб-сайт: <http://www.lavoisier.fr>

L'Appel du livre

99 rue de Charonne, 75011 Paris, FRANCE

Телефон: +33 1 43 07 50 80 • Факс: +33 1 43 07 50 80

Эл. почта: livres@appeldulivre.fr • Веб-сайт: <http://www.appeldulivre.fr>

ГЕРМАНИЯ

Goethe Buchhandlung Teubig GmbH

Schweitzer Fachinformationen

Willstätterstrasse 15, 40549 Düsseldorf, GERMANY

Телефон: +49 (0) 211 49 8740 • Факс: +49 (0) 211 49 87428

Эл. почта: s.dehaan@schweitzer-online.de • Веб-сайт: <http://www.goethebuch.de>

ВЕНГРИЯ

Librotade Ltd., Book Import

PF 126, 1656 Budapest, HUNGARY

Телефон: +36 1 257 7777 • Факс: +36 1 257 7472

Эл. почта: books@librotade.hu • Веб-сайт: <http://www.librotade.hu>

ИНДИЯ

Allied Publishers

1st Floor, Dubash House, 15, J.N. Heredi Marg, Ballard Estate, Mumbai 400001, INDIA

Телефон: +91 22 2261 7926/27 • Факс: +91 22 2261 7928

Эл. почта: alliedpl@vsnl.com • Веб-сайт: <http://www.alliedpublishers.com>

Bookwell

3/79 Nirankari, Delhi 110009, INDIA

Телефон: +91 11 2760 1283/4536

Эл. почта: bkwell@nde.vsnl.net.in • Веб-сайт: <http://www.bookwellindia.com/>

ИТАЛИЯ

Libreria Scientifica "AEIOU"

Via Vincenzo Maria Coronelli 6, 20146 Milan, ITALY

Телефон: +39 02 48 95 45 52 • Факс: +39 02 48 95 45 48

Эл. почта: info@libreriaaeiou.eu • Веб-сайт: <http://www.libreriaaeiou.eu/>

ЯПОНИЯ

Maruzen Co., Ltd.

1-9-18 Kaigan, Minato-ku, Tokyo 105-0022, JAPAN

Телефон: +81 3 6367 6047 • Факс: +81 3 6367 6160

Эл. почта: journal@maruzen.co.jp • Веб-сайт: <http://www.maruzen.co.jp>

НИДЕРЛАНДЫ

Martinus Nijhoff International

Koraalrood 50, Postbus 1853, 2700 CZ Zoetermeer, NETHERLANDS

Телефон: +31 793 684 400 • Факс: +31 793 615 698

Эл. почта: info@nijhoff.nl • Веб-сайт: <http://www.nijhoff.nl>

Swets Information Services Ltd.

PO Box 26, 2300 AA Leiden

Dellaertweg 9b, 2316 WZ Leiden, NETHERLANDS

Телефон: +31 88 4679 387 • Факс: +31 88 4679 388

Эл. почта: tbeysens@nl.swets.com • Вебсайт: <http://www.swets.com>

СЛОВЕНИЯ

Cankarjeva Založba dd

Kopitarjeva 2, 1515 Ljubljana, SLOVENIA

Телефон: +386 1 432 31 44 • Факс: +386 1 230 14 35

Эл. почта: import.books@cankarjeva-z.si • Веб-сайт: http://www.mladinska.com/cankarjeva_zalozba

ИСПАНИЯ

Díaz de Santos, S.A.

Librerías Bookshop • Departamento de pedidos

Calle Albasanz 2, esquina Hermanos Garcia Noblejas 21, 28037 Madrid, SPAIN

Телефон: +34 917 43 48 90 • Факс: +34 917 43 4023

Эл. почта: compras@diazdesantos.es • Веб-сайт: <http://www.diazdesantos.es/>

СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО

The Stationery Office Ltd. (TSO)

PO Box 29, Norwich, Norfolk, NR3 1PD, UNITED KINGDOM

Телефон: +44 870 600 5552

Эл. почта (заказы): books.orders@tso.co.uk • (справки): book.enquiries@tso.co.uk • Веб-сайт: <http://www.tso.co.uk>

СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ

Bernan Associates

4501 Forbes Blvd, Suite 200, Lanham, MD 20706-4391, USA

Телефон: +1 800 865 3457 • Факс: 1 800 865 3450

Эл. почта: orders@bernan.com • Веб-сайт: <http://www.bernan.com>

Renouf Publishing Co. Ltd.

812 Proctor Avenue, Ogdensburg, NY 13669, USA

Телефон: +1 888 551 7470 • Факс: +1 888 551 7471

Эл. почта: orders@renoufbooks.com • Веб-сайт: <http://www.renoufbooks.com>

Организация Объединенных Наций (ООН)

300 East 42nd Street, IN-919J, New York, NY 1001, USA

Телефон: +1 212 963 8302 • Факс: +1 212 963 3489

Эл. почта: publications@un.org • Веб-сайт: <http://www.unp.un.org>

Заказы платных и бесплатных публикаций можно направлять непосредственно по адресу:

IAEA Publishing Section, Marketing and Sales Unit, International Atomic Energy Agency

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

Телефон: +43 1 2600 22529 или 22488 • Факс: +43 1 2600 29302

Эл. почта: sales.publications@iaea.org • Веб-сайт: <http://www.iaea.org/books>

Обеспечение безопасности с помощью международных норм

«Обязанность правительств, регулирующих органов и операторов во всем мире – обеспечивать полезное, безопасное и разумное применение ядерных материалов и источников излучения. Нормы МАГАТЭ по безопасности предназначены способствовать этому, и я призываю все государства-члены пользоваться ими.»

Юкия Аmano
Генеральный директор

МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
ВЕНА

ISBN 978-92-0-404614-4

ISSN 1020-5845