

Нормы МАГАТЭ по безопасности

для защиты людей и охраны окружающей среды

Разработка и применение вероятностной оценки безопасности уровня 1 для атомных электростанций

Специальное руководство по безопасности
№ SSG-3



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: 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 и защиты 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 **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 1 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, БОЛИВАРИАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА | МАВРИТАНИЯ, ИСЛАМСКАЯ РЕСПУБЛИКА | ТОГО |
| ВЬЕТНАМ | МАДАГАСКАР | ТРИНИДАД И ТОБАГО |
| ГАБОН | МАЛАВИ | ТУНИС |
| ГАИТИ | МАЛАЙЗИЯ | ТУРЦИЯ |
| ГАНА | МАЛИ | УГАНДА |
| ГВАТЕМАЛА | МАЛЬТА | УЗБЕКИСТАН |
| ГЕРМАНИЯ | МАРОККО | УКРАИНА |
| ГОНДУРАС | МАРШАЛЛОВЫ ОСТРОВА | УРУГВАЙ |
| ГРЕЦИЯ | МЕКСИКА | ФИДЖИ |
| ГРУЗИЯ | МОЗАМБИК | ФИЛИППИНЫ |
| ДАНИЯ | МОНАКО | ФИНЛЯНДИЯ |
| ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА КОНГО | МОНГОЛИЯ | ФРАНЦИЯ |
| ДОМИНИКА | МЬЯНМА | ХОРВАТИЯ |
| ДОМИНИКАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА | НАМИБИЯ | ЦЕНТРАЛЬНОАФРИКАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА |
| ЕГИПЕТ | НЕПАЛ | ЧАД |
| ЗАМБИЯ | НИГЕР | ЧЕРНОГОРИЯ |
| ЗИМБАБВЕ | НИГЕРИЯ | ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА |
| ИЗРАИЛЬ | НИДЕРЛАНДЫ | ЧИЛИ |
| ИНДИЯ | НИКАРАГУА | ШВЕЙЦАРИЯ |
| ИНДОНЕЗИЯ | НОВАЯ ЗЕЛАНДИЯ | ШВЕЦИЯ |
| ИОРДАНИЯ | НОРВЕГИЯ | ШРИ-ЛАНКА |
| ИРАК | ОБЪЕДИНЕННАЯ РЕСПУБЛИКА ТАНЗАНИЯ | ЭКВАДОР |
| ИРАН, ИСЛАМСКАЯ РЕСПУБЛИКА | ОБЪЕДИНЕННЫЕ АРАБСКИЕ ЭМИРАТЫ | ЭРИТРЕЯ |
| ИРЛАНДИЯ | ОМАН | ЭСТОНИЯ |
| ИСЛАНДИЯ | ПАКИСТАН | ЭФИОПИЯ |
| ИСПАНИЯ | ПАЛАУ | ЮЖНАЯ АФРИКА |
| ИТАЛИЯ | ПАНАМА | ЯМАЙКА |
| ЙЕМЕН | ПАРАГВАЙ | ЯПОНИЯ |

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

СЕРИЯ НОРМ МАГАТЭ ПО БЕЗОПАСНОСТИ, № SSG-3

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ
ВЕРОЯТНОСТНОЙ ОЦЕНКИ
БЕЗОПАСНОСТИ УРОВНЯ 1 ДЛЯ
АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

СПЕЦИАЛЬНОЕ РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ

МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
ВЕНА, 2014 ГОД

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКОМ ПРАВЕ

Все научные и технические публикации МАГАТЭ защищены в соответствии с положениями Всемирной конвенции об авторском праве в том виде, как она была принята в 1952 году (Берн) и пересмотрена в 1972 году (Париж). Впоследствии авторские права были распространены Всемирной организацией интеллектуальной собственности (Женева) также на интеллектуальную собственность в электронной и виртуальной форме. Для полного или частичного использования текстов, содержащихся в печатных или электронных публикациях МАГАТЭ, должно быть получено разрешение, которое обычно является предметом соглашений о роялти. Предложения о некоммерческом воспроизведении и переводе приветствуются и рассматриваются в каждом отдельном случае. Вопросы следует направлять в Издательскую секцию МАГАТЭ по адресу:

Группа 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

Отпечатано МАГАТЭ в Австрии
Май 2014 года
STI/PUB/1430

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНОЙ
ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ УРОВНЯ 1 ДЛЯ АТОМНЫХ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
МАГАТЭ, ВЕНА, 2014 ГОД
STI/PUB/1430
ISBN 978–92–0–406014–0
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 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 радиоактивного материала 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 относятся к установкам и деятельности, связанным 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 составляет высокий уровень 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).

Основы безопасности

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

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



РИС. 1. Долгосрочная структура Серии норм МАГАТЭ по 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

Руководства по безопасности содержат рекомендации и руководящие материалы, касающиеся выполнения требований безопасности, и в них

выражается международный консенсус в отношении необходимости принятия рекомендуемых мер (или эквивалентных альтернативных мер). В руководствах по безопасности представлена международная образцовая практика, и они во все большей степени отражают наилучшую практику с целью помочь пользователям достичь высоких уровней 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, 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, предназначены, 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 (ТРАССК), а также Комиссия по нормам безопасности (КНБ), которая осуществляет надзор за программой МАГАТЭ по нормам 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.



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

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 МАГАТЭ по нормам 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 (1.1-1.8) | 1 |
| | Цель (1.9-1.11) | 5 |
| | Сфера применения (1.12-1.16) | 5 |
| | Структура (1.17)..... | 6 |
| 2. | ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ПРОВЕДЕНИЕМ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОБ (2.1) | 7 |
| | Сфера охвата ВОБ (2.2-2.4)..... | 7 |
| | Валидация и рассмотрение ВОБ (2.5-2.6) | 9 |
| | Текущая ВОБ (2.7-2.9)..... | 9 |
| | Контрольные значения (цели или критерии безопасности) (2.10-2.20)..... | 10 |
| | Использование ВОБ при принятии решений (2.21-2.31)..... | 14 |
| 3. | УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТОМ ПО ВОБ И ЕГО ОРГАНИЗАЦИЯ | 18 |
| | Определение целей и сферы охвата проекта по ВОБ (3.1-3.2) ... | 18 |
| | Управление проектом по ВОБ (3.3-3.7) | 19 |
| | Выбор методов и установление процедур (3.8-3.9) | 20 |
| | Выбор группы и организация (3.10-3.12) | 21 |
| | Организация программы обеспечения качества для ВОБ (3.13-3.14)..... | 21 |
| | Общие аспекты документации ВОБ (3.15-3.22) | 22 |
| 4. | ОЗНАКОМЛЕНИЕ СО СТАНЦИЯМИ И СБОР ИНФОРМАЦИИ (4.1-4.3) | 25 |
| 5. | ВОБ УРОВНЯ 1 ДЛЯ ВНУТРЕННИХ ИСХОДНЫХ СОБЫТИЙ ПРИ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА НОМИНАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ (5.1-5.2)..... | 26 |
| | Общие аспекты методологии ВОБ уровня 1 (5.3-5.10) | 27 |
| | Анализ исходных событий (5.11-5.39)..... | 29 |
| | Анализ аварийных последовательностей (5.40-5.68)..... | 35 |
| | Системный анализ (5.69-5.85) | 42 |

| | |
|--|------------|
| Анализ зависимых отказов (5.86-5.91) | 46 |
| Анализ отказов по общей причине (5.92-5.95) | 48 |
| Анализ надежности оператора (5.96-5.113) | 49 |
| Прочие вопросы моделирования (5.114-5.120) | 53 |
| Данные, необходимые для ВОБ уровня 1 (5.121-5.139) | 55 |
| Квантификация анализа (5.140-5.150) | 58 |
| Анализ значимости, исследования чувствительности и анализ неопределенностей (5.151-5.160) | 61 |
| 6. ОБЩАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ВОБ УРОВНЯ 1 ДЛЯ ВНУТРЕННИХ И ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ | 64 |
| Введение (6.1) | 64 |
| Процесс анализа (6.2-6.5) | 65 |
| Сбор исходной информации (6.6-6.7) | 66 |
| Идентификация опасностей (6.8-6.13) | 68 |
| Скрининг опасностей (6.14-6.25) | 71 |
| 7. ОСОБЕННОСТИ ВОБ УРОВНЯ 1 ДЛЯ ВНУТРЕННИХ ОПАСНОСТЕЙ | 75 |
| Введение (7.1) | 75 |
| Граничная оценка и детальный анализ внутренних опасностей для ВОБ уровня 1 (7.2-7.11) | 75 |
| Анализ внутренних пожаров (7.12-7.65) | 78 |
| Анализ внутреннего затопления (7.66-7.92) | 94 |
| Другие внутренние опасности (7.93-7.114) | 101 |
| 8. ОСОБЕННОСТИ ВОБ УРОВНЯ 1 ДЛЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ | 105 |
| Введение (8.1) | 105 |
| Общие аспекты ограничивающего анализа для внешних опасностей (8.2-8.14) | 105 |
| Определение параметров внешних опасностей (8.15-8.28) | 109 |
| Детальный анализ внешних опасностей (8.29-8.32) | 112 |
| Оценка частоты возникновения внешних опасностей (8.33-8.58) | 113 |
| Анализ неустойчивости конструкций и элементов (8.59-8.80) .. | 119 |
| Интеграция внешних опасностей на уровне 1 ВОБ (8.81-8.100) .. | 123 |
| Документирование и представление результатов (8.101-8.111) .. | 128 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 9. | ВОБ УРОВНЯ 1 ДЛЯ РЕЖИМОВ НИЗКОЙ МОЩНОСТИ И ОСТАНОВА | 132 |
| | Общие аспекты ВОБ уровня 1 для режимов низкой мощности и останова (9.1-9.3) | 132 |
| | Спецификация типов остановов и эксплуатационных состояний станции (9.4-9.10)..... | 133 |
| | Анализ исходных событий (9.11-9.21)..... | 136 |
| | Анализ аварийных последовательностей (9.22-9.30)..... | 140 |
| | Анализ систем (9.31) | 144 |
| | Анализ зависимых отказов (9.32-9.35) | 145 |
| | Анализ надежности оператора (9.36-9.45) | 146 |
| | Оценка данных (9.46-9.55) | 149 |
| | Квантификация аварийных последовательностей (9.56-9.57) ... | 151 |
| | Анализ значимости, исследования чувствительности и анализ неопределенностей (9.58-9.60) | 152 |
| | Документирование и представление результатов(9.61-9.71)..... | 153 |
| 10. | ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЯ ВОБ | 155 |
| | Сфера охвата ВОБ для применений (10.1-10.5) | 155 |
| | Риск-ориентированный подход (10.6-10.7) | 157 |
| | Использование ВОБ для оценки проекта (10.8-10.27)..... | 158 |
| | Риск–ориентированные технические спецификации (10.28-10.35) | 162 |
| | Мониторы рисков (10.36-10.54) | 164 |
| | Риск-ориентированные инспекции в процессе эксплуатации (10.55-10.64)..... | 169 |
| | Риск-ориентированные испытания в процессе эксплуатации (10.65-10.69)..... | 171 |
| | Дифференцированное обеспечение качества (10.70-10.75)..... | 173 |
| | Оценочные показатели безопасности, основанные на ВОБ (10.76-10.77)..... | 174 |
| | Анализ событий на основе ВОБ (10.78-10.83) | 175 |
| | Риск-ориентированные регулирующие положения (10.84-10.89). | 176 |
| | СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ | 179 |
| | ПРИЛОЖЕНИЕ I: ПРИМЕР ОБЩЕГО ПЕРЕЧНЯ ВНУТРЕННИХ И ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ . | 181 |

| | |
|---|-----|
| ПРИЛОЖЕНИЕ II: ПРИМЕРЫ ДЕРЕВЬЕВ СОБЫТИЙ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ПОЖАРА И ДЕРЕВЬЕВ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ..... | 191 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ III: ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ПО ВОБ ДЛЯ РЕЖИМОВ НИЗКОЙ МОЩНОСТИ И ОСТАНОВА | 193 |
| СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ | 211 |
| ОРГАНЫ, УЧАСТВУЮЩИЕ В ОДОБРЕНИИ НОРМ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ | 215 |

1. ВВЕДЕНИЕ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Общеизвестно, что установки и виды деятельности, связанные с радиоактивными материалами, обеспечивают получение многочисленных полезных результатов, но в то же время им присущи радиационные риски. В документе категории Основ безопасности «Основопологающие принципы безопасности» [1] определены принципы обеспечения защиты работников, населения и окружающей среды от вредного воздействия ионизирующих излучений в настоящее время и в будущем. В этих принципах подчеркивается необходимость оценки и контроля внутренне присущего такой деятельности риска. В частности, принцип 5 [1] (пункт 3.22), 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. В ряде публикаций МАГАТЭ категории Требований безопасности определены более конкретные требования к оценке риска для атомных электростанций. В публикации категории Требований безопасности «Безопасность атомных электростанций: проектирование» [2] (пункт 5.68) указывается:

«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».

Кроме того, в [2] (пункт 5.73) подчеркивается, 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;
- 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».

1.3. Поэтому вероятностная оценка безопасности (ВОБ) считается важным инструментальным средством для анализа с целью обеспечения безопасности атомной электростанции при воздействии потенциальных исходных событий, которые могут быть следствием случайных отказов компонентов или ошибки оператора, а также внутренних и внешних опасностей.

1.4. В публикации категории Требований безопасности «Оценка безопасности установок и деятельности» [3] (пункт 4.13), подчеркивая необходимость всестороннего анализа безопасности, констатируется:

¹ ПИС: постулируемое исходное событие.

«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».

В [3] (пункт 4.55) также говорится:

«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».

Таким образом, всесторонняя ВОБ необходима для тщательного исследования безопасности атомной электростанции.

1.5. Было показано, что ВОБ предоставляет возможность изучения важных аспектов безопасности в дополнение к тем аспектам, изучение которых обеспечивается детерминистическим анализом. ВОБ обеспечивает методологический подход к определению аварийных последовательностей, которые могут являться следствием разнообразных исходных событий, и она включает в себя систематическое и реалистичное определение частоты и последствий аварий. В международной практике принято выделять три уровня ВОБ:

- 1) при ВОБ уровня 1 анализируются проект и эксплуатация станции с целью определить последовательности событий, которые могут приводить к повреждению активной зоны, и оценивается возможная частота повреждения активной зоны. ВОБ уровня 1 позволяет выявлять сильные и слабые стороны связанных с безопасностью систем и процедур, имеющих или предусмотренных для предотвращения повреждения активной зоны;
- 2) при ВОБ уровня 2 оценивается хронологическое развитие последствий повреждения активной зоны, определенных в ВОБ уровня 1, включая количественную оценку последствий тяжелого повреждения реакторного топлива. При ВОБ уровня 2 определяют, каким образом соответствующие выбросы радиоактивных веществ из топлива могут привести к выбросам в окружающую среду. Также оценивается частота, величина и другие важные характеристики выброса радиоактивных веществ в окружающую

среду. Этот анализ позволяет еще глубже понять важность мер по предотвращению аварий и смягчению их последствий, а также физических барьеров для выбросов радиоактивных веществ в окружающую среду (например, здания защитной оболочки реактора);

- 3) при ВОБ уровня 3 оценивают последствия для здоровья населения и другие социальные последствия, такие, как заражение почвы или продуктов питания в результате аварийных последовательностей, которые приводят к выбросу радиоактивности в окружающую среду.

1.6. ВОБ уровня 1, ВОБ уровня 2 и ВОБ уровня 3 – это последовательные уровни анализа, при котором результаты каждой оценки обычно служат в качестве основы для ВОБ на следующем уровне. ВОБ уровня 1 дает представление о слабых местах проекта и о путях предотвращения аварий, ведущих к повреждению активной зоны, которое может предшествовать авариям, ведущим к крупным выбросам радиоактивных веществ с потенциальными последствиями для здоровья людей и для окружающей среды. ВОБ уровня 2 позволяет еще глубже понять важность аварийных последовательностей, ведущих к повреждению активной зоны, в терминах масштаба выбросов радиоактивных веществ, которые они могут повлечь, а также показывает слабые места мероприятий по уменьшению масштабов и управлению тяжелыми авариями и пути их совершенствования. Наконец, ВОБ уровня 3 показывает относительную важность мер по предотвращению аварий и смягчению их последствий, выраженных в виде неблагоприятных последствий для здоровья работников станции и населения, а также радиоактивного загрязнения почвы, воздуха, воды и продуктов питания. Кроме того, ВОБ уровня 3 показывает относительную эффективность аспектов управления авариями, связанных с аварийной готовностью и реагированием.

1.7. К настоящему времени ВОБ уровня 1 проведена на большинстве атомных электростанций во всем мире. В последние годы проявилась тенденция проводить ВОБ уровня 2 или ограниченного уровня 2 (например, ВОБ уровня 2, при которой оценивается частота крупных выбросов на ранней стадии) для многих типов атомных электростанций. Кроме того, в нескольких государствах была проведена ВОБ уровня 3.

1.8. Настоящее руководство по безопасности было подготовлено на основе систематического рассмотрения соответствующих публикаций, в том числе [1-3], современного и текущего пересмотра других руководств по безопасности, доклада Международной консультативной группы по ядерной безопасности (ИНСАГ) [4] и других публикаций по безопасности атомных электростанций.

ЦЕЛЬ

1.9. Цель настоящего руководства по безопасности состоит в том, чтобы представить рекомендации по выполнению изложенных в [3] требований к осуществлению проекта или управлению проектом ВОБ уровня 1 для атомной электростанции и его использования в поддержку проектирования с учётом требований безопасности и безопасной эксплуатации станции. Положения настоящего руководства по безопасности применимы к существующим станциям и эволюционным проектам атомных электростанций, однако могут быть не полностью применимы к принципиально новым проектам. Цель рекомендаций, представленных в настоящем руководстве по безопасности, заключается в содействии технической согласованности исследований по ВОБ уровня 1 с целью обеспечения надёжной поддержки применения ВОБ и принятию решений на основе риск-информированного подхода. Ещё одна цель настоящего руководства по безопасности – рекомендовать стандартную основу, которая может способствовать рассмотрению регулирующим органом или внешнему экспертному рассмотрению ВОБ уровня 1 и ее различных применений.

1.10. В настоящем руководстве по безопасности также представлены систематические, надёжные средства обеспечения эффективного выполнения обязательств в соответствии со статьёй 14 Конвенции о ядерной безопасности [5].

1.11. Рекомендации, представленные в настоящем руководстве по безопасности, основаны на международно признанной надлежащей практике. Однако оно не ставит цель воспрепятствовать использованию эквивалентных новых или альтернативных методов. Напротив, одобряется использование любого метода, который способствовал бы достижению целей ВОБ уровня 1. Однако предполагается, что представленная в настоящем руководстве по безопасности основа ВОБ будет применяться в обозримом будущем.

СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ

1.12. В настоящем руководстве по безопасности рассматриваются необходимые технические особенности ВОБ уровня 1 и ее применений в отношении атомных электростанций на основе международно признанной надлежащей практики. Сфера применения ВОБ уровня 1, рассматриваемая в настоящем руководстве по безопасности, включает в себя все рабочие режимы станции (то есть режимы номинальной мощности, низкой мощности и останова), а также

любые другие потенциальные исходные события и потенциальные опасности, а именно: (а) внутренние исходные события, вызванные случайными отказами элементов и ошибками персонала, (б) внутренние опасности (например, пожары во внутренних помещениях и затопления внутренних помещений, разлетающиеся обломки турбины) и (с) внешние опасности, как природного характера (например, землетрясения, сильные ветры, внешние затопления), так и антропогенного характера (например, крушение самолета, аварии на близлежащих промышленных объектах).

1.13. Основное внимание в настоящем руководстве по безопасности уделяется активной зоне реактора; в нем не рассматриваются другие источники радиоактивного материала на площадке, например, бассейн хранения отработавшего ядерного топлива. Однако в ходе рассмотрения ВОБ уровня 1 для режимов низкой мощности и останова (раздел 9) также анализируется риск, связанный с топливом, удаленным из реактора.

1.14. Рассмотрение опасностей, являющихся результатом злоумышленных действий, не входит в сферу применения настоящего руководства по безопасности.

1.15. При выполнении ВОБ уровня 1 наиболее распространенной практикой является выполнение анализа различных опасностей и рабочих режимов в рамках отдельных модулей, имеющих в качестве основы ВОБ уровня 1 в отношении режима номинальной мощности для внутренних исходных событий. В настоящем руководстве по безопасности используется этот подход.

1.16. Подразумевается, что рекомендации настоящего руководства по безопасности, насколько возможно, нейтральны по отношению к используемой технологии, и ожидается, что подавляющее большинство рекомендаций будет применимо к различным типам атомных электростанций. Однако примеры, если они представлялись необходимыми, приведены главным образом для атомных электростанций с водоохлаждаемыми реакторами. При применении некоторых рекомендаций к другим типам атомных электростанций могут быть необходимы интерпретация или оценочное суждение.

СТРУКТУРА

1.17. В разделе 2 приведены рекомендации по общим вопросам, касающимся выполнения и использования ВОБ, включая сферу применения ВОБ, валидацию ВОБ и текущую ВОБ. В разделе 3 содержатся ключевые

рекомендации по управлению проектом и организации ВОБ, а также общих аспектов документации ВОБ. В разделе 4 рассматривается задача ознакомления группы, выполняющей ВОБ, с атомной электростанцией. В разделах 5-8 приведены рекомендации относительно методологии ВОБ уровня 1 для режима номинальной мощности и для различных исходных событий и опасностей. В разделе 5 представлены рекомендации по ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий. В разделе 6 кратко изложены ключевые рекомендации по общим аспектам ВОБ уровня 1 для внутренних и внешних опасностей, а в разделах 7 и 8 рассматриваются специфические особенности ВОБ уровня 1 для внутренних опасностей и внешних опасностей, соответственно. В разделе 9 изложены ключевые рекомендации по ВОБ уровня 1 для режимов низкой мощности и останова. В разделе 10 изложены ключевые рекомендации по методам ВОБ уровня 1. В трех приложениях представлены пример общего перечня внутренних и внешних опасностей, пример дерева событий при распространении пожара и сейсмических событиях, а также дополнительная информация о ВОБ для режимов низкой мощности и останова.

2. ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ПРОВЕДЕНИЕМ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОБ

2.1. В настоящем разделе описываются некоторые общие вопросы, относящиеся к проведению ВОБ и практическому использованию результатов ВОБ. Поскольку сфера применения руководства по безопасности ограничена рассмотрением ВОБ уровня 1, в настоящем разделе описываются проблемы с более широкой точки зрения для того, чтобы обеспечить полную картину возможностей технологии ВОБ и ее результатов. Некоторые утверждения в настоящем разделе не представляют собой явные рекомендации; они, скорее, предоставляют дополнительную информацию в целях облегчения понимания контекста прочих утверждений и рекомендаций, представленных в других разделах руководства по безопасности.

СФЕРА ОХВАТА ВОБ

2.2. В пунктах 2.2-2.4 представлены рекомендации по выполнению Требования 1, касающегося дифференцированного подхода, и Требования 14, касающегося масштабов анализа безопасности для ВОБ [3]. Сферу охвата

проводимой ВОБ следует связывать с национальными целями или критериями безопасности, если таковые установлены. На высоком уровне количественные результаты ВОБ часто используются для проверки соответствия целям или критериям безопасности, которые обычно формулируются в виде количественных оценок частоты повреждения активной зоны реактора, частоты различного рода радиоактивных выбросов и социальных рисков, что впоследствии может потребовать выполнения ВОБ уровня 1, ВОБ уровня 2 или ВОБ уровня 3, соответственно. В целях или критериях безопасности, как правило, не указывается, какие опасности и рабочие режимы станции должны рассматриваться. Поэтому, для того чтобы использовать результаты ВОБ для проверки соответствия существующим целям или критериям безопасности, следует выполнить полномасштабную ВОБ, включая полный список исходных событий и опасностей, а также всех рабочих режимов станции, за исключением случаев, когда при формулировании целей или критериев безопасности указывается ВОБ ограниченного масштаба или используются альтернативные подходы с целью продемонстрировать, что риск, связанный с теми исходными событиями, опасностями и рабочими режимами, которые не включены в модель, не нарушают соответствия целям или критериям безопасности.

2.3. Если ВОБ выполняется только применительно к уровню 1, целью анализа, как правило, является активная зона реактора. Если ВОБ выполняется применительно к уровню 2 или уровню 3, где должно быть оценено воздействие радиоактивных выбросов, то сфера охвата ВОБ может включать способствующие возникновению риска факторы, являющиеся результатом наличия на площадке другого радиоактивного материала, такого как отработавшее топливо и радиоактивные отходы. Такие источники радиоактивности за пределами активной зоны следует включать в ВОБ всякий раз, когда цель состоит в рассмотрении общего риска, создаваемого станцией для населения вблизи площадки.

2.4. Основное преимущество ВОБ состоит в том, что она обеспечивает четкую основу для анализа неопределенностей при оценке риска. Определение источников погрешности и понимание их воздействия на модель ВОБ и ее результаты следует считать неотъемлемой частью любой ВОБ, с тем чтобы влияние неопределенностей могло быть принято во внимание при использовании результатов ВОБ в поддержку принятия решений.

ВАЛИДАЦИЯ И РАССМОТРЕНИЕ ВОБ

2.5. В пунктах 2.5 и 2.6 представлены рекомендации относительно выполнения Требования 18 по использованию и валидации программных кодов для ВОБ и Требования 21 относительно независимой проверки ВОБ [3]. ВОБ включает в себя ряд аналитических методов. К ним относятся разработка логических моделей дерева событий и дерева отказов, используемых при анализе аварийных последовательностей, методы решения логических моделей, модели явлений, которые могут произойти, например, в пределах защитной оболочки атомной электростанции вследствие повреждения активной зоны, и модели переноса радионуклидов в окружающей среде с целью определения их воздействия на здоровье человека и экономику, в зависимости от масштабов анализа (уровень 1, 2 или 3). Перед их применением следует продемонстрировать, что данные аналитические методы обеспечивают надлежащее представление происходящих процессов. Компьютерные коды в поддержку данных аналитических методов должны соответствовать назначению и масштабам анализа, а регулирующие физические и логические уравнения следует правильно программировать в компьютерных кодах ([3], пункт 4.60).

2.6. Для организации, выполняющей ВОБ, широко распространённой практикой является подготовка независимого экспертного рассмотрения ВОБ внешней организацией, в некоторых случаях из другого государства, с целью обеспечить определенную степень уверенности в правильности сферы охвата, моделирования и данных, а также обеспечить их соответствие текущей, признанной в международных масштабах надлежащей практике ВОБ. Эксперты, привлеченные для выполнения рассмотрения ВОБ, не должны осуществлять любую другую деятельность, касающуюся выполнения рассматриваемой ВОБ, и должны представлять организацию, независимую от разработчика ВОБ.

ТЕКУЩАЯ ВОБ

2.7. В пунктах 2.7-2.9 представлены рекомендации по выполнению Требования 24 относительно сохранения актуальности оценки безопасности для ВОБ уровня 1 [3]. В течение срока службы атомной электростанции в проект систем безопасности или условия эксплуатации станции зачастую вносятся изменения. Подобные изменения могут оказывать влияние на уровень риска, связанного со станцией. Во время эксплуатации станции поступают дополнительные статистические данные о частоте исходных событий и вероятностях отказов элементов. Аналогичным образом, могут появиться новая

информация и более сложные методы и инструментальные средства, которые могут изменить некоторые из предположений, сделанных при анализе, и, как следствие, результаты оценок риска, полученных с помощью ВОБ. Поэтому следует сохранять актуальность ВОБ на протяжении всего срока службы станции с целью обеспечения ее неизменной полезности для процесса принятия решений. ВОБ, подвергающуюся регулярной периодической доработке, называют текущей ВОБ. При обновлении ВОБ следует учитывать изменения в проекте и эксплуатации станции, появляющиеся новую техническую информацию и более сложные методы и инструментальные средства, а также новые данные для конкретной станции, полученные в результате эксплуатации станции, например, данные, используемые при оценке частот возникновения исходных событий или вероятностей отказов элементов. Обновление ВОБ следует организовывать в рамках точно определённого процесса, и следует регулярно рассматривать статус ВОБ, с тем чтобы обеспечивать ее актуальность в качестве представительной модели станции и ее соответствие поставленным целям.

2.8. На протяжении срока службы станции следует проводить сбор данных с целью проверки или обновления анализа. В подобные данные следует включать информацию об опыте эксплуатации, в частности, данные по исходным событиям, данные об отказах и неготовности элементов во время тестирования, технического обслуживания и ремонта, а также данные о выполнении действий персоналом. Результаты анализа следует периодически подвергать переоценке по мере поступления новой информации.

2.9. Следует поддерживать разработку текущей ВОБ в целях содействия процессу принятия решений при нормальной эксплуатации станции. Многие вопросы, такие как оценка изменения риска, связанного с изменением поведения станции или временным изменением допустимого времени простоя компонента, могут быть подкреплены аргументами, полученными с помощью ВОБ. Опыт показывает, что подобная текущая ВОБ может являться существенным преимуществом для эксплуатирующей организации, а ее использование, как правило, приветствуется регулирующими организациями.

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ (ЦЕЛИ ИЛИ КРИТЕРИИ БЕЗОПАСНОСТИ)

2.10. В пунктах 2.10-2.20 представлены рекомендации по выполнению Требования 4 для цели проведения ВОБ [3]. Если цель ВОБ состоит в определении существенных факторов, влияющих на риск, или в выборе между различными вариантами проекта и конфигурациями станции, контрольное

значение может и не потребоваться. Однако если цель ВОБ заключается в содействовать формированию вывода о том, (i) является ли допустимым расчетный риск, (ii) является ли допустимым предложенное изменение проекта или эксплуатации станции, или (iii) является ли необходимым изменение для снижения уровня риска, то следует задавать вероятностные контрольные значения, с тем чтобы предоставить соответствующие руководящие материалы разработчикам, операторам, регулирующим организациям и прочим сторонам, заинтересованным в выполнении их соответствующих ролей по обеспечению безопасной ядерной энергии на уровне безопасности, желаемом или необходимом для станции. В существующей практике некоторых государств контрольные значения формулируются в качестве целей безопасности и поэтому они представляют собой ориентировочные значения, к достижению которых необходимо стремиться. В других государствах контрольные значения являются критериями, указывающими строгие пределы, которые необходимо соблюдать.

2.11. ВОБ позволяет получить численные значения, связанные с риском на различных уровнях, в зависимости от оцениваемых последствий. Вероятностные цели или критерии безопасности могут быть установлены в отношении любой или всех следующих мер:

- a) вероятности невыполнения конкретных функций безопасности или отказа систем безопасности;
- b) частоты повреждения активной зоны² (ВОБ уровня 1);
- c) частоты конкретного выброса (задаваемого, например, с точки зрения его объема, изотопов, продолжительности) радиоактивного материала на станции или частоты выброса радиоактивного материала как функции его величины (ВОБ уровня 2);
- d) частоты возникновения определенных воздействий на здоровье населения или частоты возникновения конкретных экологических последствий (ВОБ уровня 3).

2.12. Одна из возможных структур для определения вероятностных критериев безопасности представлена в [6], где определены «порог допустимости», выше которого уровень риска считается недопустимым, и «проектный целевой уровень», ниже которого риск считается в широком смысле допустимым. Между данными двумя уровнями имеется область, в пределах которой риск

² Для понятия повреждения активной зоны должны быть указаны определенные критерии, как описано в разделе 5 настоящего руководства по безопасности. Данные критерии могут различаться для различных проектов ядерных реакторов.

считается допустимым только при условии принятия разумно достижимых мер для снижения риска. Хотя данный подход принят в некоторых государствах, более распространенным следует считать вариант поиска вероятностных критериев безопасности, определенных как целевые показатели, цели, задачи, руководящие принципы или контрольные значения для ориентации. Кроме того, численные значения уровней риска, которые соответствуют порогу допустимости и целевым показателям проекта, в разных государствах неодинаковы.

2.13. Что касается вероятности невыполнения функций безопасности или отказа систем безопасности, то на уровне функции безопасности или системы безопасности могут быть установлены вероятностные целевые показатели. Подобные вероятностные целевые показатели эффективны для проверки достаточности предусмотренного уровня резервирования и разнообразия. Подобные целевые показатели будут характерны для проекта станции и поэтому в данном случае нет возможности дать какие-либо рекомендации относительно их установления. При оценке безопасности следует проверять, достигаются ли эти целевые показатели. Если нет, то проект может по-прежнему являться допустимым при условии, что удовлетворены критерии более высокого уровня. Однако рассматриваемым системам безопасности следует уделять особое внимание, с тем чтобы установить, могут ли быть внесены какие-либо разумно осуществимые усовершенствования.

2.14. На основании текущего опыта проектирования и эксплуатации атомных электростанций ИНСАГ в 1999 году предложила численные значения, которые могут быть достигнуты для текущих и предлагаемых проектов атомных электростанций.

2.15. ИНСАГ (см. [4]) предложила целевые показатели частоты повреждения активной зоны отдельно для существующих и будущих станций³.

2.16. Частота повреждения активной зоны является наиболее распространенной мерой риска, поскольку на большинстве станций была выполнена, по крайней мере, ВОБ уровня 1 и методология является прочно установившейся. Во многих государствах численные значения данного типа используются как

³ Целевыми показателями частоты повреждений активной зоны в [4] являются (a) 1×10^{-4} на реакторо-год для существующих станций и (b) 1×10^{-5} на реакторо-год для будущих станций. Данная информация не указана детально в [4], для которой применимы сфера охвата ВОБ и численные значения. Предполагается, что имеется в виду полномасштабная ВОБ.

официально, так и неофициально в качестве вероятностных целей или критериев безопасности.

2.17. Крупный выброс радиоактивного материала за пределы площадки: крупный выброс радиоактивного материала, который может иметь серьезные последствия для общества и потребует принятия чрезвычайных мер за пределами площадки, может быть указан рядом способов, включая следующее:

- a) в виде абсолютных количеств (в беккерелях) наиболее важных радионуклидов в выбросах;
- b) в виде доли суммарного количества радиоактивных материалов в активной зоне;
- c) в виде заданной дозы для наиболее подверженных воздействию лиц за пределами площадки;
- d) в виде выброса, влекущего за собой «неприемлемые последствия».

В некоторых случаях указываются критерии, связанные с временными параметрами выброса, в частности с тем, происходит ли выброс на ранней или поздней стадии. В подобных случаях необходимо дать определение термину «ранняя стадия».

2.18. ИНСАГ также предложила цели для крупного выброса радиоактивного материала за пределами площадки, требующего срочного реагирования за пределами площадки⁴.

2.19. Несмотря на то, что отсутствует какое-либо международное согласие относительно того, что представляет собой крупный выброс за пределами площадки, подобные вероятностные критерии точно определены в ряде государств.

⁴ Целью для крупных выбросов за пределами площадки, требующих срочного реагирования за пределами площадки, является 1×10^{-5} на реакторо-год для существующих реакторных станций. В [4] не указано численное значение для крупного радиоактивного выброса за пределами площадки для будущих станций, однако, указана следующая качественная цель: «Еще одна цель для этих будущих станций заключается в практическом исключении аварийных последовательностей, которые могли бы привести к крупным ранним радиоактивным выбросам, тогда как серьезные аварии, которые могли бы подразумевать поздний отказ защитной оболочки, могли бы рассматриваться в процессе проектирования с реальными предположениями и анализами наилучшей оценки таким образом, чтобы их последствия требовали исключительно защитных мер, ограниченных в пространстве и во времени».

2.20. Воздействия на здоровье населения: ИНСАГ не выработала руководящих материалов относительно целевых показателей для воздействия на здоровье населения⁵.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОБ ПРИ ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ

2.21. В пунктах 2.21-2.31 представлены рекомендации по выполнению Требования 23 в [3] относительно использования ВОБ уровня 1. ВОБ следует использовать на протяжении срока службы станции в целях предоставления исходных данных для принятия решений совместно с результатами и знаниями, полученными при проведении детерминистического анализа безопасности и учета соображений, связанных с глубокоэшелонированной защитой.

2.22. ВОБ может предоставлять полезные знания и исходные данные для различных заинтересованных сторон, таких, как персонал станции (административный и инженерно-технический, эксплуатационный и по техническому обслуживанию), регулирующие органы, разработчики и организации-поставщики, для принятия решений относительно:

- a) изменений проекта и станции;
- b) оптимизации эксплуатации и технического обслуживания станции;
- c) анализа безопасности и исследовательских программ;
- d) вопросов регулирования.

2.23. В тех случаях, когда результаты ВОБ должны использоваться в поддержку процесса принятия решений, для этого следует установить формальную основу. Детали процесса принятия решений будут зависеть от цели конкретного применения ВОБ, характера принимаемого решения и используемых результатов ВОБ. Если должны использоваться численные результаты ВОБ, то следует установить контрольные значения, с которыми могут сравниваться эти результаты.

2.24. В ВОБ следует рассматривать фактический или, в случае станции в стадии разработки или при внесении изменений, предполагаемый проект или эксплуатацию станции, что должно быть четко определено в качестве основы для анализа. Состояние станции может быть зафиксировано на конкретную

⁵ В некоторых государствах целевой показатель для риска смерти лица из населения принимается равным 1×10^{-6} на реакторо-год.

прошедшую дату или будущую дату, когда будет завершено внесение согласованных изменений. Это должно быть выполнено для обеспечения четкого целевого показателя завершения ВОБ. Более поздние изменения могут рассматриваться в структуре программы текущей ВОБ, как описано в пунктах 2.7-2.9.

2.25. В случае станции на этапе проектирования результаты ВОБ следует использовать в качестве части процесса проектирования для оценки уровня безопасности. В данном случае знания, полученные в результате ВОБ, следует рассматривать совместно со знаниями, полученными в результате детерминистического анализа для принятия решений относительно безопасности станции. Решения о безопасности станции должны представлять собой результат процесса последовательных приближений, направленного на обеспечение соответствия национальным требованиям и критериям, сбалансированности проекта и получения как можно более низкого разумно достижимого риска.

2.26. Кроме того, результаты ВОБ следует сравнивать с вероятностными целями или критериями безопасности, если таковые указаны в национальных регулирующих положениях или руководящих принципах и т.п. Это следует делать в отношении всех вероятностных критериев, определенных для станции, включая те, которые касаются надежности систем, повреждения активной зоны, выбросов радиоактивного материала, воздействий на здоровье работников, воздействий на здоровье населения и последствий за пределами площадки, таких как загрязнение почвы и запреты пищевых продуктов.

2.27. При ВОБ следует определять все аварийные последовательности, которые могут способствовать возникновению риска, а также устанавливать, имеют ли место слабые места в проекте или при эксплуатации станции. ВОБ может использоваться, например, для оценки потребности в изменениях для уменьшения значимости подобных слабых мест для безопасности. Если анализ не учитывает всех факторов, способствующих возникновению риска (например, если в анализе пропущены внешние опасности или состояния останова), то выводы, сделанные из ВОБ относительно уровня риска, создаваемого станцией, сбалансированности предусмотренных систем безопасности и необходимости внесения изменений в проект или эксплуатацию для снижения риска, могут быть необъективными.

2.28. Результаты ВОБ уровня 1 следует использовать для определения слабых мест в проекте или при эксплуатации станции. Слабые места можно определять путем рассмотрения вкладов в риск от групп исходных событий, степени

важности систем безопасности и вкладов ошибок человека в общий риск. В тех случаях, когда результаты ВОБ указывают на то, что с целью снижения риска в проект или эксплуатацию станции могут быть внесены изменения, эти изменения следует вносить тогда, когда это разумно достижимо, с учетом относительных затрат и выгод любых изменений.

2.29. Результаты ВОБ уровня 2 следует использовать для определения того, достаточные ли предприняты меры для предотвращения или смягчения воздействия постулированных последовательностей повреждения активной зоны. В ВОБ уровня 2 следует рассматривать, является ли защитная оболочка достаточно прочной, и обеспечивают ли защитные системы, такие, как системы смешивания и рекомбинации водорода, впрыска теплоносителя в защитную оболочку реактора и системы вентиляции защитной оболочки, надлежащий уровень защиты для предотвращения крупного выброса радиоактивного материала в окружающую среду. Кроме того, следует рассматривать такие случаи обхода защитной оболочки, как потеря теплоносителя в смежных системах. Кроме того, ВОБ уровня 2 следует использовать для определения и оптимизации мер по управлению авариями, предпринимаемых для ослабления воздействия поврежденной активной зоны. Это может включать определение дополнительных мер, например, мер, предпринимаемых для ввода воды в защитную оболочку реактора.

2.30. При наличии, результаты ВОБ уровня 2 и уровня 3 следует предоставлять гражданским компетентным органам в качестве исходной технической информации для противоаварийного планирования за пределами площадки.

2.31. В разделе 10 приведены подробные рекомендации относительно конкретных применений ВОБ для регулирующего органа и эксплуатирующих организаций. Однако для удобства и непрерывности при освещении общих аспектов ВОБ, ниже представлена итоговая сводка основных рекомендаций, касающихся применения ВОБ:

- а) результаты ВОБ следует использовать при разработке аварийных процедур и для предоставления исходных данных для технических спецификаций станции. В частности, результаты ВОБ следует использовать для исследования увеличения риска после прекращения эксплуатации элементов оборудования в целях тестирования или технического обслуживания и достаточности частоты контроля или испытаний. ВОБ следует использовать для подтверждения того, что допустимые времена остановки не вносят чрезмерного вклада в риск, и указания того, каких сочетаний простоев оборудования следует избегать;

- b) ВОБ следует использовать на протяжении всего процесса проектирования и эксплуатации станции в целях содействия принятию решений относительно безопасности станции:
- i) в случае новой станции ВОБ следует начинать на стадии концептуального проектирования в целях проверки достаточности уровней резервирования и разнообразия, предусмотренных в системах безопасности. ВОБ следует продолжать вплоть до стадии более детального проектирования для оценки более подробных вопросов проектирования, и ее следует использовать в поддержку эксплуатации станции. На стадии проектирования, в целях обеспечения того, что знания, полученные в результате ВОБ, возвращены в процесс проектирования, следует задействовать процесс последовательных приближений;
 - ii) в случае существующей станции ВОБ следует выполнять либо в качестве части периодической оценки безопасности, либо в поддержку обоснования безопасности предлагаемых изменений. Несмотря на то, что требования к ВОБ остаются теми же, используемые данные могут изменяться с учетом накопленного опыта. Кроме того, в зависимости от возраста установки, оставшегося срока службы, стоимости предлагаемых изменений и прочих связанных с ними соображений, будут иметь место различия в том, какие изменения могли бы быть разумным образом внесены с целью снижения риска. В таких соображениях следует учитывать возможность продления срока службы станции, независимо от того, действует ли такое продление срока службы или оно только рассматривается;
- c) ВОБ следует использовать для определения того, предусмотрен ли в системах безопасности надлежащий уровень резервирования и разнообразия, и сбалансирован ли проект в целом. В качестве свидетельств сбалансированности проекта результаты ВОБ должны демонстрировать, что:
- i) ни одна специфическая особенность проекта или группы исходных событий не вносит непропорционально большого вклада в риск;
 - ii) достижение общего низкого уровня риска не обусловлено способствующими факторами, имеющими значительную неопределенность.

Отсутствие сбалансированности проекта зачастую свидетельствует о том, что имеются возможности для принятия практически осуществимых мер с целью снижения риска.

3. УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТОМ ПО ВОБ И ЕГО ОРГАНИЗАЦИЯ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕЙ И СФЕРЫ ОХВАТА ПРОЕКТА ПО ВОБ

3.1. В пунктах 3.1 и 3.2 представлены рекомендации по выполнению Требования 4 в [3] относительно цели ВОБ уровня 1 и Требования 14, касающегося сферы охвата ВОБ уровня 1 [3]. Определение целей ВОБ, наряду с видами ее предполагаемого и потенциального использования, является важным этапом, осуществляемым до начала процесса выполнения ВОБ. Сфера охвата ВОБ определяется уровнем анализа (уровень 1, 2 или 3), рассматриваемыми исходными событиями, опасностями и рабочими режимами (то есть, режимами номинальной мощности, низкой мощности или останова⁶). Сфера охвата ВОБ должна соответствовать как целям исследования, так и имеющимся ресурсам и информации, то есть необходимым процедурам и методам, кадровым, экспертным ресурсам, финансированию и времени, необходимому для анализа. Например, если цель ВОБ состоит в проверке риска, связанного с эксплуатацией станции, и сопоставлении его с заданными целями безопасности, что подразумевает полную оценку риска, то следует выполнить полномасштабную ВОБ, включающую полный перечень исходных событий, опасностей и всех рабочих режимов станции, и следует предоставить для анализа соответствующие ресурсы. Кроме того, может возникнуть необходимость анализа других источников излучения (например, бассейна для хранения отработавшего топлива), в зависимости от формулировки целей безопасности.

3.2. Следует признать, что предполагаемые применения ВОБ могут приводить к установлению дополнительных требований к сфере охвата ВОБ, подходам к моделированию и степени детализации. Если подобные дополнительные требования принимаются во внимание на этапе планирования проекта по ВОБ, то это будет способствовать предотвращению несогласованностей в полученных результатах и знаниях. Например, если запланировано использовать ВОБ для разработки программы управления тяжелыми авариями, должна выполняться ВОБ уровня 2. В качестве другого примера, если запланировано использовать модель ВОБ в качестве основы для контроля риска, модель ВОБ должна быть

⁶ ВОБ для режимов малой мощности и останова, как правило, выполняется в качестве части одного и того же исследования.

«симметричной» с точки зрения моделирования исходных событий. Не следует использовать общее упрощение моделирования исходного события как всегда происходящего по одной определенной схеме. Например, аварии с потерей теплоносителя следует моделировать для каждой петли с соответствующей вероятностью того, что повреждена определенная петля (т.е. 1/2 для станции с двумя нитками, 1/3 для станции с тремя нитками), а не как единичное событие в одной из петель. Более подробные данные об особенностях ВОБ, необходимые для различных применений ВОБ, представлены в разделе 10.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТОМ ПО ВОБ

3.3. В пунктах 3.3-3.14 представлены рекомендации по выполнению Требования 5 в [3] относительно подготовки к оценке безопасности для ВОБ уровня 1 и по выполнению Требования 22 в [3] относительно управления оценкой безопасности. Управление проектом по ВОБ в значительной мере зависит от конкретных условий в государстве, а именно:

- a) организаций, участвующих в проекте по ВОБ;
- b) типа и степени участия участвующих организаций;
- c) целей и сферы охвата исследования ВОБ.

После того, как заданы цели и сфера охвата ВОБ, следует разработать схему управления проектом по ВОБ, включая выбор методов и установление процедур, выбор персонала и организацию группы, которая будет выполнять ВОБ, обучение этой группы, подготовку плана-графика проекта по ВОБ, оценку и обеспечение необходимых финансовых средств, а также определение процедур обеспечения качества и процедур проведения экспертного рассмотрения.

3.4. Исследование ВОБ, как правило, подготавливается одной из следующих организаций:

- a) организацией-разработчиком станции;
- b) организацией, эксплуатирующей станцию;
- c) регулирующим органом.

ВОБ может быть выполнена данными группами или консультантами, научно-исследовательскими институтами, университетами или их совместными усилиями. В любом случае эксплуатирующей организации следует всегда принимать участие в качестве источника оперативных знаний, а также являться получателем полученных знаний.

3.5. Как правило, считается желательным начать процесс выполнения ВОБ как можно раньше в течение срока службы станции. Слабые места проекта или процедур, обнаруженные заблаговременно, могут быть исправлены или оптимизированы с меньшими расходами, чем те, что остаются необнаруженными или неисправленными вплоть до начала эксплуатации станции. В то время как ВОБ может быть начата на любой из стадий в течение срока службы станции, модели и документацию ВОБ следует постоянно вести и регулярно обновлять на протяжении всего срока службы станции в целях обеспечения непрерывного получения полезных результатов.

3.6. При исследовании ВОБ следует рассматривать конкретную «фиксированную дату» моделирования условий «в заводском исполнении» и условий «режима работы» станции. Если в начале проекта по ВОБ известно, что в проект и эксплуатацию станции будут в ближайшее время и до завершения выполнения ВОБ вноситься определенные изменения, то на ранней стадии ВОБ следует принять решение относительно того, будут ли данные изменения рассматриваться в ВОБ. Если принято решение рассматривать будущие изменения, то следует соответственно определить фиксированную дату, и в ВОБ следует учитывать состояние станции после изменений.

3.7. Документацию для ВОБ следует разрабатывать четким, прослеживаемым, систематическим и прозрачным образом так, чтобы она могла обеспечивать эффективную поддержку процесса рассмотрения ВОБ, применений ВОБ и будущих обновлений ВОБ.

ВЫБОР МЕТОДОВ И УСТАНОВЛЕНИЕ ПРОЦЕДУР

3.8. С самого начала осуществления проекта следует установить надлежащие методы и процедуры работы таким образом, чтобы обеспечить минимальное количество изменений этих процедур во время проекта. Излишние повторы в методах и процедурах могут вызывать задержки в выполнении проекта по ВОБ. В следующих разделах данной публикации приведены общие руководящие материалы относительно методологических средств и подходов к анализу. После того, как выбраны методы работы, различные этапы процедур следует связать с задачами обеспечения качества и обучения разработке подробного плана задач, включая график выполнения проекта.

3.9. Ресурсы с точки зрения состава привлеченных специалистов, кадровых ресурсов, машинного времени, календарного времени и прочих составляющих, которые будут необходимы для завершения ВОБ, в значительной степени

зависят от сферы охвата ВОБ, которая в свою очередь определяется основными целями, а также от имеющихся экспертных знаний в группе ВОБ. Планирование работ следует проводить после установления подробных процедур, и при этом следует учитывать наличие персонала.

ВЫБОР ГРУППЫ И ОРГАНИЗАЦИЯ

3.10. Члены группы, которая выполняет ВОБ, могут быть охарактеризованы организацией, которую они представляют, и техническими знаниями, которыми они обладают. Как только определен необходимый персонал, следует установить каналы связи и распределить конкретные задачи. Необходимое обучение следует определить и запланировать в соответствии с деятельностью по ВОБ. Задача формирования и обучения группы тесно связана с соответствующими задачами обеспечения качества.

3.11. Знания и опыт, необходимые для проведения ВОБ, должны включать два существенных элемента: знание станции и знание методов ВОБ. Данные знания и опыт могут значительным образом изменяться, в зависимости от сферы охвата ВОБ, однако, по мере возможности, следует предусматривать участие разработчика станции и эксплуатирующей организации. Точнее говоря, необходимые знания и опыт, касающиеся знания станции, следует получать от лиц, обладающих обширными знаниями в отношении проектирования станции и ее эксплуатации в нормальных и аварийных условиях.

3.12. Группе, которая будет выполнять ВОБ впервые, следует пройти обучение для приобретения знаний и опыта, необходимых для успешного завершения исследования.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОГРАММЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ДЛЯ ВОБ

3.13. Программа обеспечения качества⁷ для ВОБ охватывает виды деятельности, необходимые для достижения надлежащего качества ВОБ, и виды деятельности, необходимые для проверки достижения надлежащего качества. Что касается ВОБ, то надлежащее качество означает, что конечный

⁷ Вместо термина «обеспечение качества», в [7] используется термин «система управления». Термин «обеспечение качества» оставлен в настоящем руководстве по безопасности с целью обеспечения соответствия общепризнанной существующей практике и терминологии, используемой в области ВОБ.

продукт является правильным и пригодным для использования и что он соответствует целям и сфере охвата ВОБ. В программе обеспечения качества следует предусматривать упорядоченный подход ко всем видам деятельности, влияющим на качество ВОБ, включая в соответствующих случаях проверку того, что каждая задача выполнена удовлетворительно и что осуществлены необходимые корректирующие меры.

3.14. Обеспечение качества ВОБ следует рассматривать и организовывать в качестве неотъемлемой части проекта по ВОБ, а процедуры обеспечения качества должны являться неотъемлемой частью процедур ВОБ. Процедуры обеспечения качества следует предусматривать в целях контроля составляющих видов деятельности, связанных с ВОБ в областях организации, технической работы и документации. При их применении в отношении технической работы, процедуры обеспечения качества нацелены на обеспечение согласованности между целями, масштабом, методами и предположениями, а также точностью при применении методов и при расчетах. В процедуры обеспечения качества следует включать контроль документации ВОБ. Общие требования к контролю документов представлены в разделе 2 [7].

ОБЩИЕ АСПЕКТЫ ДОКУМЕНТАЦИИ ВОБ

Цели и содержание документации

3.15. В пунктах 3.15-3.22 изложены общие рекомендации по выполнению Требования 20 относительно документации для ВОБ уровня 1 [3]. Основными целями документации по ВОБ должны быть выполнение требований ее пользователей и пригодность для конкретных применений ВОБ. К возможным пользователям ВОБ относятся:

- a) организации, эксплуатирующие атомные электростанции (руководство и эксплуатационный персонал);
- b) организации-разработчики и поставщики;
- c) регулирующие органы и лица или организации, оказывающие им техническую поддержку;
- d) прочие правительственные органы;
- e) население.

Некоторые из этих пользователей, например, население, могут использовать, прежде всего, итоговый доклад о ВОБ, в то время как другие будут использовать полную документацию ВОБ, включая компьютерную модель.

3.16. Документация по ВОБ включает рабочие файлы, компьютерные входные и выходные данные, корреспонденцию, предварительные доклады и итоговый доклад о ВОБ. Документация по ВОБ должна быть полной, хорошо структурированной, четкой и удобочитаемой, несложной для рассмотрения и обновления. Ее следует представлять в прослеживаемой и последовательной форме, то есть порядок внешнего представления анализа в окончательной документации должен в максимально возможной степени соответствовать порядку, в котором данный анализ был фактически выполнен. Кроме того, следует предусматривать средства для возможной детализации анализа, включая добавление новых разделов, использование улучшенных моделей, расширение сферы охвата рассматриваемой ВОБ и ее использование для альтернативных применений. Точное изложение предположений, исключений и ограничений для расширения и интерпретации ВОБ также весьма важно для пользователей.

3.17. В документацию следует включать в рамках доклада (или посредством ссылок на имеющиеся материалы) всю необходимую информацию для реконструкции исследования. Все промежуточные субанализы, расчеты, предположения, и т.д., которые не будут опубликованы в любых внешних докладах, следует сохранять в качестве записей, рабочих документов или компьютерных выходных данных. Это крайне важно для реконструкции и обновления каждой отдельной части анализа в будущем.

Организация документации

3.18. Итоговый доклад исследования ВОБ следует разделить на три основные части:

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

3.19. Итоговый доклад следует составлять таким образом, чтобы обеспечить общее представление о стимулирующих факторах, целях, сфере охвата, предположениях, результатах и заключениях ВОБ на уровне, понятном широкому кругу специалистов по безопасности реакторов и соответствующем высокоуровневому рассмотрению. Итоговый доклад составляется с целью:

- a) поддержки высокоуровневого рассмотрения ВОБ;
- b) информирования о ключевых аспектах исследования широкого круга заинтересованных сторон;

- с) создания четкой основы и руководства для читателя или пользователя до ознакомления с основным докладом.

Итоговый доклад о ВОБ должен включать подраздел о структуре доклада, в котором представляются краткие описания содержания разделов основного доклада и отдельных приложений. Отношение между различными частями ВОБ должно также быть включено в настоящий подраздел итогового доклада.

3.20. Основной доклад должен давать четкое и прослеживаемое представление полного исследования ВОБ, включая описание станции, целей анализа, методов и используемых данных, рассматриваемых исходных событий, результатов моделирования станции и заключений. Основной доклад, совместно с приложениями, должен составляться с целью:

- а) поддержки технического рассмотрения ВОБ;
- б) передачи подробной ключевой информации заинтересованным пользователям;
- с) разрешения эффективного и разнообразного применения моделей и результатов ВОБ;
- д) содействия доработке моделей, данных и результатов в поддержку непрерывного управления безопасностью станции.

3.21. В приложения следует включать подробные данные, записи инженерно-технических расчетов, подробные модели и т.д. Приложения следует структурировать таким образом, чтобы они могли в максимально возможной степени соответствовать непосредственно разделам и подразделам основного доклада.

3.22. Помимо общих рекомендаций относительно документации, предоставленных в настоящем разделе, конкретные рекомендации в отношении документации представлены и в других разделах настоящего руководства по безопасности, например, для ВОБ в случае внутренних исходных событий, для ВОБ в случае пожаров во внутренних помещениях, для ВОБ в случае затоплений внутренних помещений, для ВОБ в случае внешних опасностей и для ВОБ в случае режимов низкой мощности и останова.

4. ОЗНАКОМЛЕНИЕ СО СТАНЦИЕЙ И СБОР ИНФОРМАЦИИ

4.1. В настоящем разделе представлены рекомендации по выполнению Требования 5 в [3] относительно подготовки к ВОБ уровня 1. Группе ВОБ следует ознакомиться с проектом и эксплуатацией станции, включая аварийные процедуры и процедуры испытаний и технического обслуживания. К источникам информации, которые могут использоваться для ознакомления со станцией, относятся:

- a) документация по техническому обоснованию безопасности для станции;
- b) технические спецификации для станции;
- c) описания систем;
- d) чертежи системы «в заводском исполнении» (в реальных условиях) (схемы системы трубопроводов и приборного оснащения);
- e) чертежи электрических трасс, включая схемы электрических соединений и критерии аварийного выключения системы защиты электрических шин;
- f) электрические схемы управляющих и исполнительных устройств;
- g) нормальные эксплуатационные процедуры, аварийные процедуры, процедуры испытаний и технического обслуживания;
- h) анализы, имеющие отношение к определителям критериев успеха систем;
- i) опыт эксплуатации станции или подобных станций в том же государстве или иных государствах, а также доклады и анализ инцидентов;
- j) регистрационные журналы оператора;
- k) обсуждения с эксплуатационным персоналом;
- l) эксплуатационные записи станции и протоколы остановов;
- m) содержание баз данных станции и/или компьютеризированной системы управления, при наличии;
- n) компоновочные чертежи станции;
- o) чертежи расположения системы трубопроводов и технологического маршрута;
- p) чертежи расположения кабелей и технологического маршрута;
- q) доклады об обходе станции;
- r) регулирующие требования;
- s) прочие документы, относящиеся к станции.

Документы по станции, содержащие необходимую для анализа информацию, следует собирать и предоставлять группе ВОБ. В зависимости от сферы охвата ВОБ, может потребоваться более конкретная информация, например, схема компоновки станции и топография площадки и окружающей среды для ВОБ в отношении внешних опасностей. Для разъяснения и получения дополнительной

информации может потребоваться взаимодействие с техническим персоналом, который не входит в состав группы ВОБ.

4.2. В настоящее время во многих государствах выполнение ВОБ требуется в качестве части документации по техническому обоснованию безопасности. В данном случае, документация по ВОБ может содержать ссылки на соответствующие разделы документации по техническому обоснованию безопасности, например, описания систем. Все ссылки следует четко предоставлять таким образом, чтобы можно было легко найти соответствующую информацию.

4.3. Ознакомление со станцией является ключевым элементом ВОБ для внешних и внутренних опасностей. Для проверки информации об источниках опасности и функциях станции, подверженных воздействию опасности, следует выполнить тщательный обход станции. Следует предусматривать специальные руководящие материалы по ознакомлению с внешними и внутренними опасностями на станции.

5. ВОБ УРОВНЯ 1 ДЛЯ ВНУТРЕННИХ ИСХОДНЫХ СОБЫТИЙ ПРИ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА НОМИНАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ

5.1. В настоящем разделе представлены рекомендации по выполнению Требований 6-13 в [3] в отношении ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий. В настоящем разделе также представлены рекомендации по техническим вопросам, которые следует рассматривать при выполнении ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий, вызванных случайными отказами элементов и ошибками оператора, происходящими в режиме работы на номинальной мощности.

5.2. Рекомендации по ВОБ уровня 1 включают:

- a) общие аспекты методологии ВОБ уровня 1;
- b) анализ исходных событий;
- c) анализ аварийных последовательностей;
- d) анализ систем;
- e) анализ зависимых отказов;

- f) анализ отказов по общей причине;
- g) анализ надежности человека;
- h) моделирование пассивных систем и компьютеризованных систем;
- i) данные, требуемые для ВОБ уровня 1;
- j) интеграцию и квантификацию модели ВОБ;
- k) анализ чувствительности и анализ значимости и неопределенностей.

Общая структура для анализа изображена на рис. 1.

ОБЩИЕ АСПЕКТЫ МЕТОДОЛОГИИ ВОБ УРОВНЯ 1

5.3. В качестве первого этапа следует определить общий подход и методологию, используемые для ВОБ уровня 1. Общий подход и методология должны обладать способностью моделировать последовательности отказов, которые могут происходить, начиная с исходного события, и должны также обладать способностью определять сочетания отказов систем безопасности, отказов вспомогательных систем и ошибок оператора, которые могут привести к повреждению активной зоны.

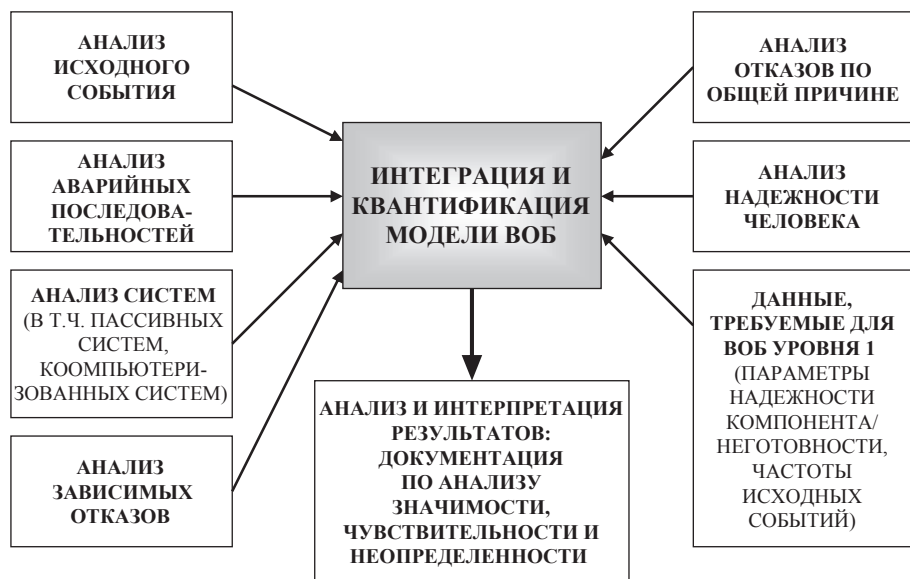


РИС. 1. Общая структура анализа ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий.

5.4. При выполнении ВОБ могут использоваться несколько методов. Однако обычный подход предполагает использование сочетания деревьев событий и деревьев отказов. Относительный размер (сложность) деревьев событий и деревьев отказов является в значительной степени вопросом предпочтения группы, выполняющей анализ, и также зависит от особенностей используемого программного обеспечения.

5.5. Один широко применяемый подход подразумевает использование сочетания деревьев событий и деревьев отказов и часто называется подходом связанных деревьев отказов. Деревья событий в широком смысле описывают характеристики аварийных последовательностей, которые берут начало от исходного события и, в зависимости от успеха или неисправности систем уменьшения риска для безопасности и систем, связанных с безопасностью, приводят к благоприятному исходу или повреждению активной зоны (см. пункты 5.42 и 5.43), или к одному из состояний повреждения станции (требуется для ВОБ уровня 2). Деревья отказов используются для моделирования отказа систем безопасности и вспомогательных систем при выполнении функций безопасности.

5.6. Другой широко используемый подход подразумевает выполнение анализа при использовании крупных деревьев событий и малых деревьев отказов. При данном подходе отказы функций безопасности, систем безопасности и вспомогательных систем моделируются в деревьях событий. Данный подход различным образом упоминается в качестве подхода крупного дерева событий, подхода связанных деревьев событий или подхода дерева событий с граничными условиями. Можно также выполнять анализ, используя только деревья событий или только деревья отказов. Однако в последнем случае высокоуровневая структура дерева отказов, как правило, извлекается из дерева событий или ряда деревьев событий или основывается на нем/них.

5.7. Общая цель состоит в том, чтобы выполнить расчёт наилучшей оценки частоты повреждения активной зоны, избегая по возможности чрезмерного консерватизма, поскольку это может без надобности привести к отклонению результатов. Следовательно, ВОБ уровня 1 должна быть основана на моделях, предположениях и данных наилучшей оценки. Однако если имеет место высокий уровень неопределенности, то может быть необходим определенный консерватизм, с тем чтобы избежать неоправданного оптимизма.

5.8. Созданная модель ВОБ уровня 1 должна быть пригодна к использованию для предполагаемых применений по назначению и допускать обновление для возможных будущих применений.

5.9. Анализ следует выполнять с использованием соответствующего компьютерного кода, обладающего следующими возможностями:

- a) он должен обладать способностью обрабатывать весьма крупную и сложную логическую модель атомной электростанции;
- b) он должен обладать способностью квантификации модели ВОБ в пределах разумно короткой временной шкалы;
- c) он должен обладать способностью предоставлять информацию, необходимую для интерпретации ВОБ уровня 1, такую как частота повреждения активной зоны, частота сечений (сочетаний исходных событий и отказов и/или ошибок человека, приводящих к повреждению активной зоны), критерии важности и результаты анализа неопределенности и чувствительности.

5.10. Проведение ВОБ уровня 1 представляет собой итеративный процесс, и он должен выполняться до получения точной, достаточно подробной модели.

АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ СОБЫТИЙ

5.11. Отправной точкой ВОБ уровня 1 являются действия по определению набора исходных событий. Исходное событие – это событие, которое может привести непосредственно к повреждению активной зоны (например, разрушению корпуса реактора) или подвергнуть угрозе нормальный режим эксплуатации и которое требует успешного смягчения последствий с использованием систем безопасности или систем, не связанных с безопасностью, в целях предотвращения повреждения активной зоны.

5.12. В настоящем разделе рассматривается определение внутренних исходных событий, которые могут возникать во время эксплуатации на номинальной мощности. Общая методология в отношении ВОБ уровня 1 для внутренних и внешних опасностей представлена в разделе 6, а подробные рекомендации приведены в разделах 7 и 8. Рекомендации по вопросам, характерным для определения исходных событий, которые могут возникать в режимах низкой мощности и при остановках, представлены в разделе 9.

Определение исходных событий

5.13. Для определения набора исходных событий, рассматриваемых в ВОБ уровня 1, следует использовать систематический процесс. Он включает в себя ряд различных подходов, в том числе:

- a) аналитические методы, такие как анализ опасностей и анализ готовности к эксплуатации или режимов и последствий отказов или прочие соответствующие методы для всех систем безопасности в целях определения того, могут ли их отказы, как частичные, так и полные, приводить к возникновению исходного события;
- b) дедуктивные анализы, такие как основные логические схемы для определения первичных отказов или сочетаний первичных отказов, которые могут создавать угрозу нормальному режиму эксплуатации и приводить к исходному событию;
- c) сравнение с перечнями исходных событий, разработанными для ВОБ уровня 1 схожих станций, и с существующими нормами и руководящими принципами безопасности;
- d) определение исходных событий на основе анализа опыта эксплуатации рассматриваемой станции и похожих станций;
- e) рассмотрение детерминистического анализа проектных аварий, анализа запроектных аварий и документации по техническому обоснованию безопасности.

5.14. Набор внутренних исходных событий, используемых в качестве основы для ВОБ уровня 1, должен быть как можно более всеобъемлющим. Общеизвестна невозможность продемонстрировать, что были определены все возможные исходные события. Однако при использовании достаточно всеобъемлющего сочетания различных подходов, перечисленных в пункте 5.13, можно быть уверенным в том, что набор исходных событий, определенных для станции, является настолько всеобъемлющим, насколько это возможно.

5.15. При определении исходных событий особое внимание следует уделять любым конструктивным особенностям, которые являются новыми или отличительными для рассматриваемой станции, принимая их в качестве потенциальных источников новых исходных событий. Это особенно важно для новых атомных электростанций, на которых опыт эксплуатации незначителен или отсутствует и на которых следует предпринимать специальные усилия для определения уникальных исходных событий, режимов отказа, аварийных последовательностей и зависимостей, характерных для данного проекта. Аналитические методы, указанные в пункте 5.13 (a), следует применять для всех

передовых действующих систем, вспомогательных систем и резервных систем с целью определения возможных исходных событий (или инициированных отказов, которые могут формировать исходные события), которые могут возникать в результате несрабатывания, частичного несрабатывания или непреднамеренного срабатывания.

5.16. Основными категориями исходных событий, включенных в ВОБ уровня 1, являются события, которые представляют собой опасность для функций безопасности, такие как отвод остаточного тепла от активной зоны реактора, контроль запаса теплоносителя первого контура, поддержание целостности первого контура и контроль реактивности активной зоны.

5.17. В набор определенных исходных событий следует включать частичные функциональные отказы или частичные отказы системы, а также полные отказы, например, сокращение подачи к парогенераторам или потерю подачи к одному парогенератору, включая также полную потерю всей подачи ко всем парогенераторам. Это важно, поскольку исходные события, включающие в себя частичные отказы, могут вносить значительный вклад в риск.

5.18. Набор определенных исходных событий должен включать события, которые могут произойти во время всех допустимых режимов эксплуатации станции на мощности, например, работы с выведенным из эксплуатации одним из контуров теплоносителя.

5.19. В набор исходных событий следует включать события весьма низкой частоты с потенциально значительными последствиями, например, разрыв корпуса реактора или аварии с потерей теплоносителя в смежных системах. Включение аварий с потерей теплоносителя в смежных системах является особенно важным, если ВОБ уровня 1 предназначена для использования в качестве основы для ВОБ уровня 2 (и, возможно, ВОБ уровня 3).

5.20. Для площадок с более чем одним энергоблоком следует определить набор исходных событий, которые могут одновременно повлиять на более чем один энергоблок, например, привести к потере энергоснабжения от внешнего источника. Кроме того, следует определить события, которые могут возникать на одном из энергоблоков и приводить к исходному событию на другом энергоблоке. Например, для ВОБ уровня 1 в отношении внутренних опасностей исходное событие на анализируемом энергоблоке может быть вызвано ударом летящего обломка, возникшего в результате разрушения турбины на смежном энергоблоке.

5.21. Набор исходных событий, определенных для станции, следует сравнивать с набором исходных событий для схожих станций, как указано в пункте 5.13 (с), в целях обеспечения того, что включены все соответствующие исходные события. В случае выявления различий следует включать дополнительные исходные события или следует представить обоснование того, почему они не являются соответствующими.

5.22. Для обеспечения того, что в набор исходных событий, рассматриваемых в рамках ВОБ уровня 1, включены любые фактически произошедшие исходные события, следует проводить рассмотрение опыта эксплуатации данной атомной электростанции (если она уже находится в эксплуатации) и похожих атомных электростанций.

5.23. Следует определять и учитывать при анализе причины подобных исходных событий. Для исходных событий, у которых имеется ряд причин или, если для того, чтобы произошло исходное событие, необходим более чем один отказ, общим подходом считается моделирование исходного события с помощью древовидной схемы отказов.

Переходные режимы

5.24. ВОБ уровня 1 следует основывать на всеобъемлющем наборе возможных переходных режимов. Примеры типов возможных переходных режимов включают следующее:

- a) увеличение теплосъема с реактора, например, открытие предохранительного(ых) клапана(ов) второго контура или разрыв паропровода;
- b) уменьшение теплосъема с реактора, например, потеря питания от магистрали или разрыв трубопровода питательной воды;
- c) уменьшение величины расхода в системе теплоносителя станции, например, аварийное выключение главного циркуляционного насоса, заклинивание насоса или поломка вала;
- d) аномалии реактивности и распределения мощности, например, неконтролируемое извлечение регулирующего стержня, выбрасывание регулирующего стержня или разбавление борного поглотителя;
- e) увеличение запаса теплоносителя реактора, например, непреднамеренное срабатывание впрыска теплоносителя;
- f) любое событие, вызывающее аварийное отключение или незамедлительную остановку реактора.

5.25. В набор переходных режимов следует включать в качестве внутреннего исходного события потерю внешнего энергоснабжения. Исходное событие, связанное с потерей внешнего энергоснабжения, следует задавать с указанием параметров частоты возникновения и продолжительности потери внешнего энергоснабжения, принимая во внимание вероятность восстановления внешнего энергоснабжения. Данный процесс следует основывать на подробных данных проекта и опыте эксплуатации, связанным с подключением энергосети к станции.

5.26. Если случаи потери внешнего энергоснабжения, которые могут происходить вследствие внутренних опасностей (таких, как пожар на станции) и внешних опасностей (таких, как экстремальные условия окружающей среды или землетрясение), точно смоделированы в ВОБ для данных опасностей, то при определении потери внешнего энергоснабжения для модели в отношении внутренних исходных событий данные причины следует исключать во избежание их двойного учета в рамках ВОБ уровня 1.

5.27. В набор исходных событий следует также включать отказы вспомогательных систем, например, систем электроснабжения, систем сжатого воздуха пневмосистем, систем охлаждающей воды, систем охлаждения помещений и контрольно-измерительных систем и систем управления. Это особенно важно, если отказ вспомогательной системы может приводить к аварийной остановке реактора и при этом вспомогательная система также играет определенную роль после аварийной остановки реактора.

Аварии с потерей теплоносителя

5.28. В рамках ВОБ уровня 1 следует рассматривать полный набор исходных событий, которые могут приводить к авариям с потерей теплоносителя.

5.29. В набор выявленных аварий с потерей теплоносителя следует включать все различные размеры и местоположения разрывов, которые могут приводить к потере теплоносителя первого контура. Возможные местоположения следует определять на основе фактического проекта и компоновки станции, и в набор аварий с потерей теплоносителя следует включать отказы системы трубопроводов и клапанов, в частности, предохранительных клапанов.

5.30. Следует определить набор аварий с потерей теплоносителя, которые могут приводить к выбросу теплоносителя первого контура за пределами защитной оболочки. Данные случаи, как правило, включают разрывы труб парогенератора и аварии с потерей теплоносителя в смежных системах, в

которых течь теплоносителя первого контура в результате разрыва обходит защитную оболочку и, следовательно, является недоступной для рециркуляции из прямка защитной оболочки.

5.31. Набор выявленных аварий с потерей теплоносителя следует разбивать на категории и группировать согласно критериям успеха для систем безопасности, которые должны срабатывать с целью предотвращения повреждения активной зоны. Что касается реакторов с водой под давлением, то аварии с потерей теплоносителя, как правило, разбиваются на категории как значительные, средние или незначительные в основном на основе функциональных характеристик, требуемых от систем впрыска теплоносителя для смягчения последствий аварии с потерей теплоносителя. В зависимости от проекта станции, для обеспечения защиты от крайне незначительных аварий с потерей теплоносителя, таких как аварии, связанные с повреждением уплотнения главного циркуляционного насоса, может потребоваться различный комплект оборудования.

Группирование исходных событий

5.32. Для того чтобы ограничить до разумного объем анализа, требуемого для ВОБ уровня 1, до перехода к анализу аварийных последовательностей следует осуществлять процесс группирования.

5.33. Если для дальнейшего ограничения объема модели ВОБ до разумного некоторые группы исходных событий подвергаются скринингу с целью включения их в модель, то устанавливаемые критерии скрининга следует согласовывать с целью выполнения ВОБ, так, чтобы не были исключены существенные факторы, способствующие возникновению риска. Если выполняется скрининг, его необходимо заново пересматривать для определенных применений ВОБ.

5.34. Исходные события следует располагать по группам, в которых должны быть одинаковыми (или в значительной степени схожими) все следующие свойства исходных событий:

- a) развитие аварии после исходного события;
- b) критерии успеха для систем смягчения последствий;
- c) влияние исходного события на работоспособность и эксплуатацию систем безопасности и вспомогательных систем, включая наличие условий для сигналов, приводящих в действие функции защиты или блокирующих срабатывание систем;

d) ответные действия, ожидаемые от операторов станции.

5.35. Критерии успеха для систем смягчения последствий, используемых для конкретной группы исходных событий, должны представлять собой наиболее строгие критерии для всех отдельных событий в пределах группы.

5.36. Если исходные события с незначительно отличающимися сценариями развития аварий и/или критериями успеха для систем смягчения последствий объединены в одну группу, то при анализе аварийных последовательностей следует обеспечивать ограничение всех потенциальных аварийных последовательностей и последствий данных исходных событий.

5.37. Группирование исходных событий следует выполнять таким образом, чтобы в анализ не вносился чрезмерный консерватизм.

5.38. Исходные события, которые могут приводить к обходу защитной оболочки (например, разрыв трубки парогенератора или аварии с потерей теплоносителя в смежных системах) не следует группировать с другими авариями с потерей теплоносителя, при которых защитная оболочка сохраняет свои функции.

5.39. В документацию по ВОБ уровня 1 следует включать перечень всех исходных событий, определенных для станции, и описание каждого исходного события, а также достаточную информацию о методе, используемом для его определения, например, анализе опасностей и анализе готовности к эксплуатации, анализе режима отказов и воздействий, основной логической схеме или рассмотрении опыта эксплуатации.

АНАЛИЗ АВАРИЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

5.40. Следующий этап анализа заключается в определении ответной реакции станции на каждую группу исходных событий (определенную в соответствии с вышеуказанной процедурой), что требует срабатывания систем безопасности с целью выполнения функций безопасности для предотвращения повреждения активной зоны. Подобные функции безопасности, как правило, включают остановку реактора и поддержание его в подкритическом состоянии, а также отвод тепла от активной зоны реактора и т.д. (см. пункт 5.45).

5.41. События, определенные в аварийных последовательностях, будут связаны с успехом или неудачей при срабатывании систем безопасности и действиями персонала, предпринимаемым при выполнении функций безопасности,

требуемых для групп исходных событий. Конечные точки моделей аварийных последовательностей будут соответствовать либо безопасному стабильному состоянию, если успешно выполнены все необходимые функции безопасности, либо повреждению активной зоны.

Повреждение активной зоны

5.42. Следует разработать критерий (или критерии, в соответствующем случае) в отношении того, что представляет собой повреждение активной зоны или определенную степень повреждения активной зоны^{8□}. Например, для реакторов с легководным замедлителем и теплоносителем зачастую предполагается, что повреждение активной зоны происходит, если какой-либо из параметров топлива (например, температура оболочки) превышает проектный предел или более высокий предел, если это может быть обосновано.

5.43. Однако определение того, что представляет собой повреждение активной зоны, зачастую выполняется с применением косвенного критерия. Например, для реактора с водой под давлением повреждение активной зоны, как предполагается, происходит после продолжительного обнажения верхней части активной зоны или если превышена максимальная заданная температура оболочки топлива. Если для возникновения повреждения активной зоны после обнажения верхней части активной зоны реактора необходим значительно более длительный интервал времени, то это следует учитывать при формировании реального определения повреждения активной зоны.

Функции безопасности, системы безопасности и критерии успеха

5.44. Для каждой группы исходных событий следует выполнять анализ аварийных последовательностей, как определено в пунктах 5.32-5.39.

5.45. Для каждой группы исходных событий следует указывать функции безопасности, которые должны выполняться с целью предотвращения повреждения активной зоны. Требуемые функции безопасности будут зависеть от типа реактора и характера исходного события и, как правило, они включают:

⁸ Может быть указано несколько состояний повреждения активной зоны, в зависимости от степени повреждения; например, в канальных реакторах повреждение различного количества каналов, как правило, рассматривается в зависимости от тяжести последствий. Еще одним фактором при определении степени повреждения активной зоны может служить фактор времени, например, замедленное повреждение активной зоны.

- a) обнаружение исходного события и аварийную остановку реактора;
- b) остановку реактора и поддержание его подкритического состояния;
- c) отвод остаточного тепла от активной зоны ядерного реактора;
- d) поддержание герметичности первого контура и защитной оболочки.

5.46. Следует определить системы безопасности и действия оператора, которые должны быть доступными для выполнения любой из этих функций безопасности, наряду с критериями успеха систем безопасности, используемых при выполнении этих функций безопасности.

5.47. Критерий успеха для каждой системы безопасности следует определять как минимальный уровень функционирования, требуемый для реализации функции безопасности, с учетом специфических особенностей каждой последовательности. Если в процесс вовлечены резервные цепи системы безопасности, то критерии успеха следует определять как количество ниток, необходимых для функционирования. Если в процесс вовлечены разнообразные системы безопасности, то в критериях успеха следует учитывать функциональные характеристики, требуемые от каждой из разнообразных систем. Это может включать частичное срабатывание каждой из разнообразных систем при поддержке анализа безопасности на основе наилучшей оценки.

5.48. При определении критериев успеха следует определять и принимать во внимание системы безопасности, которые выходят из строя в результате воздействия исходного события. Примерами подобных случаев служат обстоятельства, при которых исходное событие включает в себя отказ вспомогательной системы, например, систем электроснабжения и охлаждающей воды, или если исходное событие приводит к возникновению неблагоприятных условий окружающей среды в области нахождения оборудования, имеющего отношение к безопасности. В любом случае это может приводить к отказу необходимых систем безопасности. Другим примером служит случай крупной или средней аварии с потерей теплоносителя в реакторе с водой под давлением, где в случае разрыва холодной нитки циркуляционного контура поток не достигает линий системы аварийного охлаждения активной зоны реактора, связанных с данной ниткой; данный процесс необходимо учитывать при определении критериев успеха.

5.49. В критериях успеха следует указывать время выполнения задания для систем безопасности, то есть, время, в течение которого будет необходимо функционирование систем безопасности для того, чтобы реактор достиг безопасного, устойчивого состояния останова и которое позволит принять долгосрочные меры по поддержанию данного состояния. Во многих случаях

данное время для большинства исходных событий составляет 24 или 48 часов. Что касается новых проектов, которые обеспечивают характеристики для задержки повреждения активной зоны, то может стать необходимым рассмотрение более длительного времени на выполнение задания.

5.50. В критериях успеха следует также указывать требования к вспомогательным системам, основанные на критериях успеха для передовых систем, выполняющих функции безопасности напрямую.

5.51. В критериях успеха следует определять действия оператора, требуемые для приведения станции в безопасное, устойчивое состояние остановки, как определено в процедурах станции. Надлежащей практикой является определение действий оператора посредством совместных усилий операторов станции, специалистов по системному анализу и специалистов по анализу надежности человека.

5.52. В документацию для ВОБ уровня 1 следует включать перечень функций безопасности, систем безопасности, вспомогательных систем и действий оператора, которые требуются в случае каждого исходного события с целью перевода реактора в безопасное, устойчивое состояние останова.

Анализ в поддержку определения критериев успеха

5.53. Критерии успеха для систем безопасности и вспомогательных систем, используемые в ВОБ уровня 1, следует обосновывать посредством вспомогательного анализа. Вспомогательный анализ должен включать в себя теплогидравлический анализ отвода остаточного тепловыделения после переходных режимов и аварий с потерей теплоносителя, нейтронный анализ режимов останова и удержания в остановленном состоянии реактора и т.д.

5.54. По мере возможности, при ВОБ уровня 1 следует определять и использовать реальные критерии успеха, основанные на вспомогательном анализе с использованием наилучшей оценки.

5.55. Однако если консервативные критерии успеха, которые основываются на консервативном анализе проектных основ, использовались в ВОБ уровня 1 в отношении некоторых систем безопасности при любой аварийной последовательности, то это следует указывать, а результаты полного анализа следует тщательно рассматривать в целях обеспечения того, что подобного рода консерватизм не доминирует над риском и, следовательно, не затрудняет понимание получаемых в результате ВОБ уровня 1 знаний.

5.56. В настоящем пункте представлены рекомендации по выполнению Требования 18 в [3] относительно использования компьютерных кодов для ВОБ уровня 1. Компьютерные коды, используемые для обоснования критериев успеха, должны в достаточной мере отвечать требованиям к моделированию переходных режимов, аварий с потерей теплоносителя и анализируемых аварийных последовательностей, а также к прогнозированию результатов на основе наилучшей оценки. Компьютерные коды следует использовать только в пределах установленной сферы применения и только компетентными пользователями данных кодов. По возможности, во избежание чрезмерного консерватизма следует использовать исходные данные и предположения на основе наилучшей оценки.

Моделирование аварийных последовательностей

5.57. Следует определять аварийные последовательности, которые могут возникать после каждой группы исходных событий. Данное определение, как правило, выполняется посредством построения древовидной схемы событий для каждой группы исходных событий, в результате чего моделируется успех или отказ систем безопасности, вспомогательных систем и неуспех действий персонала при выполнении функций безопасности. Надлежащей практикой считается составление подробных диаграмм последовательности событий, включая взаимодействие персонала, до построения дерева событий.

5.58. В дереве событий для группы исходных событий следует учитывать все функции безопасности, подлежащие выполнению, и системы безопасности, которые должны функционировать согласно критериям успеха. Статус передовых систем безопасности (исправное состояние или состояние отказа) для группы исходных событий, как правило, формирует заголовки для определенного дерева событий; это иногда называют «завершающим событием дерева событий». Заголовки могут также включать любые действия оператора, которые напрямую воздействуют на ход аварии, особенно действия, выполняемые в соответствии с аварийными эксплуатационными процедурами. В качестве заголовка может также использоваться любое другое событие с прямым и существенным воздействием на последовательность.

5.59. В структуре дерева событий следует учитывать временную последовательность заголовков дерева событий, представляющих действия оператора или приведение в действие систем. Наиболее естественным способом считается их расположение в хронологическом порядке, исходя из временной последовательности требований, предъявляемых к системам или операторам.

5.60. В структуре дерева событий следует учитывать функциональные и физические зависимости (см. пункт 5.87), которые могут иметь место в результате отказов оборудования и ошибок операторов. В дереве событий следует также представлять зависимости между системами безопасности (обычно называемые взаимодействиями систем).

5.61. В анализ аварийных последовательностей следует включать все соответствующие сочетания успеха или отказа систем безопасности при реагировании на группу исходных событий и в нем следует указывать все аварийные последовательности, приводящие либо к благоприятному исходу, при котором достаточное количество систем безопасности функционирует безошибочно так, чтобы выполнялись все необходимые функции безопасности для исходного события, либо к состоянию повреждения активной зоны.

Конечные точки аварийных последовательностей и состояния повреждения станции

5.62. При анализе аварийных последовательностей определяют те аварийные последовательности, при которых все необходимые функции безопасности выполняются удовлетворительно таким образом, чтобы не произошло повреждения активной зоны, а также аварийные последовательности, при которых одна или несколько функций безопасности не выполнялись и поэтому предполагается возникновение повреждения активной зоны. Данное различия, как правило, достаточно, если анализ предполагается остановить на уровне 1 ВОБ. Однако если цель состоит в том, чтобы использовать результаты ВОБ уровня 1 в качестве исходных данных для ВОБ уровня 2, то, как правило, группируют аварийные последовательности, которые приводят к повреждению активной зоны, в состояния повреждения станции, что сформирует границу раздела между ВОБ уровня 1 и ВОБ уровня 2. Состояния повреждения станции более целесообразно задавать в качестве части ВОБ уровня 1 (вместо отсрочки задания состояний повреждения станции до первого этапа ВОБ уровня 2).

5.63. При выполнении ВОБ уровня 2 следует определять набор состояний повреждения станции, учитывающий характеристики каждой аварийной последовательности, приводящей к повреждению активной зоны, которая может повлиять на ответную реакцию защитной оболочки или привести к выбросу радиоактивного материала в окружающую среду. Состояния повреждения станции следует указывать посредством совместных действий специалистов по анализу ВОБ уровня 1 и специалистов по анализу ВОБ уровня 2.

5.64. Характеристики, задаваемые для состояния повреждения станции, как правило, остаются на усмотрение специалиста по анализу, однако, они обычно включают:

- a) тип произошедшего исходного события (неповрежденный первый контур или потеря теплоносителя);
- b) произошедшие отказы систем безопасности (в системе аварийной защиты реактора, системе отвода остаточного тепловыделения или системе аварийного охлаждения активной зоны), приводящие к повреждению активной зоны;
- c) состояние давления первого контура (высокое или низкое) во время повреждения активной зоны;
- d) время, когда произошло повреждение активной зоны (ранее или позднее времени аварийной остановки реактора);
- e) целостность защитной оболочки (неповрежденная, неисправная, повреждение изоляции, обход вследствие разрыва трубки парогенератора или аварии с потерей теплоносителя в смежных системах);
- f) потерю теплоносителя с возможностью снижения давления или без нее (для ядерных реакторов кипящего типа);
- g) состояние бассейна (переохлажденный или насыщенный) при возникновении повреждения активной зоны (для ядерных реакторов кипящего типа);
- h) готовность систем защиты защитной оболочки (впрыска теплоносителя в защитную оболочку, систем отвода тепла и систем смешивания водорода или рекомбинационных систем);
- i) наличие электропитания переменного и постоянного тока и связанные с ним времена восстановления состояния;
- j) предпринятые и неудавшиеся действия оператора.

Указанный выше перечень актуален только для ВОБ при эксплуатации на номинальной мощности; для режимов низкой мощности и останова актуален другой набор характеристик.

5.65. Поэтому аварийные последовательности, приводящие к повреждению активной зоны, следует характеризовать в соответствии с общим физическим состоянием станции, к которому приводит каждая аварийная последовательность, и возможной готовностью систем безопасности, которые могут предотвратить или ослабить выброс радиоактивного материала.

5.66. В документации по ВОБ уровня 1 следует представлять деревья событий, составленные с целью определения того, каким образом развиваются аварийные

последовательности, и следует приводить описание логических схем в основе структуры дерева событий. Это важно, поскольку сама диаграмма дерева событий представляет не обоснования, а только результаты обоснований, и, следовательно, не может быть истолкована полностью без ссылки на сопроводительный текст.

5.67. В документации следует предоставлять пояснительную информацию для заголовков в дереве событий. Например, заголовок дерева событий может представлять простую функцию или сложное событие (при котором в один заголовок включена более чем одна функция). Предположения, сделанные при разработке дерева событий, и соответствующее определение заголовков следует четко представлять и обосновывать.

5.68. В документации следует также описывать состояния повреждения станции и приводить описание того, как они были определены.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

5.69. Следующий этап анализа заключается в моделировании отказов систем, обнаруженных при анализе аварийных последовательностей. Это, как правило, осуществляется посредством анализа дерева отказов, при котором завершающее событие дерева отказов взято в качестве состояния(й) отказа системы, обнаруженного(ых) посредством анализа дерева событий. Деревья отказов расширяют анализ до уровня отдельных основных событий, которые, как правило, включают отказы компонентов (т.е. отказы насосов, клапанов, дизель-генераторов и т.д.), неготовность компонентов в периоды технического обслуживания или тестирования, отказов резервных компонентов по общей причине и отказов по вине человека, которые представляют собой последствия ошибок операторов.

5.70. Масштабы деревьев отказов, которые необходимо составлять, зависят от размера и сложности дерева событий; чем более подробным является дерево событий⁹, тем менее сложным представляется дерево отказов.

⁹ Для определенных аспектов ВОБ возможны и могут использоваться другие методы. Однако обычным подходом считается использование сочетания деревьев событий и деревьев отказов, и, как предполагается, используется именно данный подход (см. пункты 5.4-5.6).

Анализ дерева отказов

5.71. Деревья отказов следует разрабатывать для получения логической модели отказов при состояниях отказов системы безопасности, определенных путем анализа дерева событий.

5.72. Критерий отказа, который предусматривает завершающее событие дерева отказов для каждой функции системы безопасности, должен быть логической противоположностью критерию успеха аварийной последовательности, как указано в пунктах 5.47-5.56. В некоторых случаях для одной и той же системы безопасности может быть необходима более чем одна модель дерева отказов в целях учета критериев успеха, указанных для различных групп исходных событий или в различных ответвлениях дерева событий, в зависимости от последовательности событий до запроса системы. Это может быть достигнуто путем разработки различных моделей деревьев отказов или использования логических ключей (так называемых «домашних событий») для деактивации или активации соответствующих частей модели дерева отказов, в зависимости от критерия успеха.

5.73. Основные события, моделируемые в деревьях отказов, должны быть совместимы с имеющимися данными по отказам компонентов. Границы компонентов и виды отказов компонентов, смоделированные в деревьях отказов, должны быть совместимыми с теми, что определены в данных по отказам компонентов. Это в равной мере применимо как к активным, так и к пассивным компонентам.

5.74. Модели деревьев отказов следует разрабатывать до уровня существенных видов отказов отдельных компонентов (насосов, клапанов, дизель-генераторов и т.д.) и отдельных ошибок операторов и в них следует включать все основные события, которые могут приводить, как напрямую, так и совместно с другими основными событиями, к завершающему событию дерева отказов. Уровень анализа, как правило, остается на усмотрение специалиста по анализу, однако, он должен быть совместим с имеющимися данными по отказам компонентов системы и предложенным применениям ВОБ уровня 1.

5.75. Набор основных событий, которые должны быть смоделированы в деревьях отказов, следует определять посредством систематического анализа (например, посредством анализа видов отказов и анализа последствий, выполняемых в качестве части оценки проекта с целью определения важных видов отказов компонентов) и рассмотрения действий оператора,

поддерживаемого анализом задач для определения потенциальных ошибок операторов.

5.76. В модель дерева отказов следует включать все компоненты системы безопасности, которые должны быть в исправном состоянии, и все компоненты вспомогательных систем. В нее также следует включать пассивные компоненты, отказ которых может привести к отказу системы, например, необнаруженные случаи засорения фильтров и течи в трубах. Модель дерева отказов следует разрабатывать таким образом, чтобы были четко учтены функциональные зависимости и зависимости отказов компонентов. Невыполнение точного моделирования этих зависимостей может привести к значительному отклонению результатов и недооценке относительной важности вспомогательных систем.

5.77. Степень разделения компонентов в дереве отказов должна быть достаточной для обеспечения возможности моделирования всех зависимостей технических средств. Например, если одна и та же система обеспечивает поступление охлаждающей воды к ряду компонентов, то следует точно моделировать эту систему подачи охлаждающей воды. При определении уровня разделения следует также учитывать имеющиеся данные о надёжности компонентов (данные о надёжности могут иметься для насоса в целом, но не для его составных частей, таких как рабочее колесо, муфта, подшипник и т.д.). Кроме того, при определении степени разделения компонентов в дереве отказов следует учитывать требуемую от ВОБ информацию о значимости оборудования станции или отдельных частей оборудования с точки зрения риска.

5.78. В случае объединения отдельных компонентов в группы и использования для моделирования их отказа комплексного события следует продемонстрировать, что виды отказов каждого компонента в комплексном событии имеют те же последствия для системы, что и само комплексное событие. Кроме того, все комплексные события, включенные в модель, должны быть функционально независимыми, то есть никакой отдельный компонент не должен встречаться более чем в одном комплексном событии, или в другом месте в качестве основного события.

5.79. В моделях деревьев отказов следует учитывать отдельные компоненты или нитки оборудования в системах безопасности, которые на протяжении срока службы станции могут выводиться из эксплуатации для тестирования, технического обслуживания или ремонта. Подобные компоненты или нитки оборудования следует определять и детально моделировать при анализе дерева

отказов. Это может быть сделано, например, путем включения основных событий в деревья отказов с целью представления простоев компонентов.

5.80. Способ моделирования неготовности систем вследствие проведения технического обслуживания должен быть совместим с техническими спецификациями станции¹⁰ и практикой технического обслуживания станции.

5.81. Следует разработать систему уникального кодирования или маркирования каждой из логических схем и основных событий в моделях деревьев отказов, и эту систему следует единообразно использовать во всей логической модели, разработанной для ВОБ уровня 1.

5.82. Разработку модели следует согласовывать с предлагаемыми применениями ВОБ уровня 1. Например, если ВОБ уровня 1 должна использоваться для мониторинга риска, модель должна быть симметричной так, чтобы она могла детально моделировать исходные события во всех местах, где они могут происходить, включая все петли первого контура, все нитки систем безопасности и все работающие и находящиеся в резерве нитки нормально действующих систем. Разработка симметрической модели обеспечит эффективное использование критериев важности¹¹, рассчитанных с помощью кода ВОБ уровня 1.

Требуемая информация о системе

5.83. С целью обеспечения надёжной и допускающей проверку основы для разработки логической модели следует подготовить функциональные описания для каждой из систем безопасности, смоделированных в ВОБ уровня 1. Функциональные описания, как правило, включают следующее:

- a) функцию системы;
- b) виды отказов системы;
- c) границы системы;
- d) сопряжения с другими системами;
- e) моделируемый режим эксплуатации (для систем с более чем одним режимом);

¹⁰ При моделировании отключений для технического обслуживания, как правило, предполагается, что станция функционирует в рамках ограничивающих эксплуатацию условий, указанных в технических спецификациях.

¹¹ Примеры критериев важности см. в пункте 5.151.

- f) компоненты, которые должны управлять или изменять их состояние и нормальную конфигурацию;
- g) срабатывают ли компоненты вручную или автоматически;
- h) условия, необходимые для получения компонентами автоматических сигналов.

5.84. Для каждой системы следует предоставить упрощенную структурную схему, показывающую систему, смоделированную в дереве отказов, включая:

- a) все компоненты системы, смоделированные в дереве отказов;
- b) нормальные конфигурации компонентов;
- c) участки труб или проводки, соединяющие компоненты;
- d) сопряжения вспомогательной системы (энергосистемы, электрической системы, системы охлаждения и т.д.).

5.85. Функциональные описания и диаграммы, предоставленные для системы безопасности, должны обеспечивать четкую основу для разработки деревьев отказов. В документации по ВОБ уровня 1 следует давать объяснение того, как данная информация использовалась при разработке деревьев отказов.

АНАЛИЗ ЗАВИСИМЫХ ОТКАЗОВ

5.86. Особое внимание следует уделять трактовке зависимостей в логической модели, разработанной для ВОБ уровня 1, поскольку в выполненных в прошлом ВОБ зависимые отказы зачастую являлись одним из доминирующих факторов, вносящих вклад в частоту повреждения активной зоны.

5.87. Ниже представлены четыре различных типа зависимости:

- 1) **к функциональным зависимостям** относятся зависимости, являющиеся результатом условий на станции, например, невозможность сбрасывания давления приводит к эксплуатационной неготовности впрыска низкого давления и зависимости вследствие общих компонентов, общих систем приведения в действие, общих требований к изоляции или общих вспомогательных систем (энергосистем, систем охлаждения, систем контроля и управления, систем вентиляции и т.д.);
- 2) **физические зависимости** (также называемые **зависимостями пространственного взаимодействия**) вследствие исходного события, которое может вызвать отказ оборудования системы безопасности. Подобные зависимости могут иметь место вследствие биения

трубопроводов, удара летящих предметов, ударной силы струи или воздействий на окружающую среду;

- 3) **зависимости взаимодействия с персоналом** вследствие ошибок, совершаемых персоналом станции, которые либо способствуют возникновению исходного события, вызывают исходное событие, либо приводят к неготовности или отказу одного или более узлов оборудования системы безопасности так, что они после исходного события не способны функционировать, когда это необходимо;
- 4) **зависимости отказов компонентов** вследствие ошибок при проектировании, изготовлении или монтаже или ошибок, совершаемых персоналом станции во время станции. Эти зависимости рассматриваются путем проведения анализа отказов по общей причине (см. пункты 5.92-5.95).

5.88. Следует проводить систематическое рассмотрение проекта и эксплуатации станции с целью определения всех потенциальных зависимостей, которые могут возникать, приводя при этом к неготовности компонентов системы безопасности или снижению их надежности при обеспечении защиты от исходных событий.

5.89. Все функциональные и физические зависимости следует детально моделировать в модели дерева событий или дерева отказов. Следует также моделировать зависимости взаимодействия с персоналом и зависимости от отказов компонентов; они далее рассматриваются в пунктах 5.96-5.113, посвященных анализу надежности действий персонала и пунктах 5.92-5.95, посвященных анализу отказов по общей причине.

5.90. Все функциональные зависимости, которые могут возникать в системах, следует учитывать в модели дерева отказов. Их следует определять и детально моделировать при анализе дерева отказов. Согласно надлежащей практике, специалистам по анализу следует сводить в таблицу все эти зависимости в матричной схеме системных зависимостей, которая может использоваться в качестве основы для построения деревьев отказов и быть полезной для специалистов, проводящих рассмотрение, при их проверке. Функциональные зависимости не следует включать в вероятности отказа системы по общей причине наряду с зависимостями отказов компонентов. Наоборот, зависимости отказов компонентов предназначены для более неопределённых зависимостей, которые не были детально выявлены и которые количественно определены посредством моделей бета-коэффициентов и сходных моделей.

5.91. При анализе дерева отказов следует определять и детально моделировать межсистемные функциональные зависимости, которые могут возникать вследствие общих компонентов или вспомогательных систем. Следует отметить, что при подходе связанного дерева событий (см. пункт 5.6), межсистемные функциональные зависимости могут рассматриваться с использованием метода граничных условий. Подобные зависимости могут возникать в отдельных системах безопасности, выполняющих одну и ту же функцию безопасности или в связанных вспомогательных системах. Их необходимо детально включать в деревья отказов.

АНАЛИЗ ОТКАЗОВ ПО ОБЩЕЙ ПРИЧИНЕ

5.92. Комплекты резервного оборудования, в которых могут возникать зависимости отказов компонентов, следует определять и включать в модель ВОБ уровня 1 для отказов этих компонентов по общей причине. Имеется ряд методов моделирования отказов по общей причине при ВОБ уровня 1, причем выбранный метод следует поддерживать сбором данных. Рассмотрение как внутрисистемных, так и межсистемных событий отказов по общей причине считается надлежащей практикой.

5.93. Отказы по общей причине, которые могут влиять на группы резервных компонентов, следует определять и моделировать с использованием соответствующих функций программного обеспечения ВОБ. Это зачастую выполняется в деревьях отказов. При анализе следует определять все соответствующие группы компонентов и важные виды отказов. Любые предположения, сделанные относительно защиты против отказов по общей причине, следует указывать в документации по ВОБ уровня 1.

5.94. Следует предоставлять обоснование вероятностей отказов по общей причине, используемых для каждого из видов отказов компонентов, включенных в ВОБ уровня 1. При этом следует учитывать уровень резервирования в системе, аспекты проектирования компонентов, компоновку системы с точки зрения уровней разделения, выделения, аттестации оборудования и т.д. и практику эксплуатации, испытаний и технического обслуживания системы.

5.95. По мере возможности, вероятности отказов по общей причине должны быть основаны на конкретных данных по станции и должны учитывать данные по эксплуатации похожих станций и общие данные. Если для вычисления вероятностей отказов по общей причине предполагается использовать общие параметры отказов по общей причине, то следует проанализировать и

подтвердить применимость этих значений. Границы компонентов, виды отказов и коренные причины отказов в используемых источниках общих данных должны соответствовать тем же показателям, принятым при выполнении ВОБ. Если для назначения параметров отказов по общей причине (при отсутствии как данных, характерных для станции, так и общих данных) предполагается использовать экспертную оценку, то для данных следует представить надлежащее обоснование, а установленные факторы, приводящие к погрешности, должны быть пропорциональны неопределенности в процессе определения параметров отказов по общей причине.

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ОПЕРАТОРА

5.96. Ошибки оператора, которые могут способствовать отказу систем безопасности, следует определять и включать в логические модели. Для определения ошибок оператора, учета влияния таких ошибок, как отказы по вине оператора, на логическую модель станции (деревья событий и деревья отказов), а также количественной оценки вероятностей таких событий, т.е. вероятностей ошибки оператора, следует применять структурированный и систематический подход. Структурированный и систематический подход обеспечит уверенность в том, что для определения влияния всех видов ошибок оператора на частоту повреждения активной зоны был проведен всесторонний анализ. Учитывая высокую степень резервирования, разнообразия и надежности систем безопасности, обычно используемых при проектировании современных атомных электростанций, последовательности нарушений, включающих ошибки оператора, ведущие к возникновению отказов или невозможности смягчения последствий отказов, зачастую оказывают значительное влияние на частоту повреждения активной зоны. Полезной отправной точкой может стать проверка примененного подхода в сравнении с одним из подходов, обычно используемым для проверки выполнения всех необходимых шагов анализа надежности оператора.

5.97. Рекомендации, приведенные в пунктах 5.98-5.113, связаны с классическим статическим представлением поведения оператора в ВОБ уровня 1, что является наиболее распространенным подходом. В последнее время, с применением более совершенных методологий, стал рассматриваться также когнитивный аспект поведения человека в динамическом взаимодействии с рабочей средой, однако в настоящем документе этот вопрос не рассматривается.

5.98. Хотя методы, используемые для анализа надежности оператора, в последние годы были усовершенствованы, спектр доступных методов достаточно широк, и технический прогресс в данной области продолжается. Выбранный метод следует применять и документировать последовательно и надлежащим образом.

5.99. Целью анализа надежности оператора должен быть синтез вероятностей ошибок оператора, согласующихся как между собой, так и с результатами анализа, проведенного в других частях ВОБ уровня 1.

5.100. Для отражения конструктивных особенностей станции и ее эксплуатации в нормальных и аварийных условиях анализ надежности оператора следует проводить в тесном сотрудничестве с эксплуатационным и обслуживающим техническим персоналом станции. Если это невозможно (например, в случае, когда анализ проводится на стадии проектирования станции), аналитикам следует использовать информацию о других, аналогичных станциях или либо четко указывать допущения, на которых основывается анализ.

Определение взаимодействий персонала

5.101. Для определения взаимодействий персонала, которые должны быть учтены в ВОБ уровня 1, следует применять структурированные и систематические процедуры. Следует учитывать все виды взаимодействий персонала, как указано в пунктах 5.102-5.105, где ошибки могут оказывать влияние на частоту повреждения активной зоны.

5.102. В анализ надежности оператора следует включать ошибки оператора, сделанные до наступления исходного события, способного стать потенциальной причиной отказа или неработоспособности оборудования или систем, связанных с безопасностью (обычно называемые взаимодействиями персонала типа А). Это может произойти в процессе ремонта, технического обслуживания, испытаний или калибровки. Если такие ошибки останутся незамеченными, то после наступления исходного события соответствующий компонент или группа компонентов окажутся неработоспособными. Особое значение имеют взаимодействия, потенциально могущие привести к одновременной неработоспособности нескольких каналов систем безопасности. Данные причины неработоспособности включаются в модели на уровне компонентов, каналов или систем.

5.103. Для определения задач по ремонту, обслуживанию, испытаниям и калибровке, выполняемых операторами станции в системах, моделируемых в ВОБ уровня 1, и для определения таким образом взаимодействий персонала типа А, следует проводить систематическое рассмотрение процедур на станции. При рассмотрении следует определять потенциально возможные ошибки и их влияние на неработоспособность или отказ оборудования систем безопасности.

5.104. Для определения потенциальных ошибок оператора, могущих стать причиной исходного события (взаимодействия персонала типа В), следует проводить систематическое рассмотрение. Как минимум, следует проводить проверку с целью обеспечения того, чтобы ошибки оператора, способные стать причиной исходного события, были учтены при оценке частот исходных событий, используемых в анализе.

5.105. Для определения критических важных действий, которые необходимо предпринимать операторам станции при наступлении исходного события (взаимодействия персонала типа С), следует проводить систематическое рассмотрение. При этом рассмотрении следует определять потенциальную возможность возникновения ошибок и влияние этих потенциальных ошибок на неготовность или отказ элемента или системы. Взаимодействия персонала типа С, как правило, оказывают значительное влияние на частоту повреждения активной зоны и поэтому зачастую представляют собой наиболее важный вид взаимодействий персонала, определяемых при ВОБ уровня 1.

5.106. Для представления влияния ошибок оператора отказы по вине обслуживающего персонала следует либо включать в деревья отказов в качестве основных событий, либо использовать в качестве заголовков деревьев событий.

Расчет вероятностей ошибки оператора

5.107. Расчеты вероятностей ошибки оператора должны отражать конкретные сценарии и факторы, которые могут влиять на выполнение операторами их задач – в том числе уровень стресса, время на выполнение задачи, наличие эксплуатационных процедур, уровень подготовки операторов, условия окружающей среды и т.д. Эти факторы (часто называемые «факторами, определяющими работоспособность») следует определять путем анализа заданий.

5.108. Метод, используемый для расчета вероятностей ошибки оператора, должен быть согласован с методами, обычно используемыми в ВОБ уровня 1, либо его применение должно быть четко обосновано.

5.109. Для каждого из ключевых взаимодействий персонала следует составлять качественные описания. В этих описаниях следует указывать все существенные аспекты, связанные с действиями персонала станции, и, как правило, они включают:

- a) продолжительность действия;
- b) соответствующие процедуры на станции;
- c) обстановку, в которой осуществляется действие;
- d) методы организации и проведения работ, например, структуру эксплуатационной смены и обязанности конкретных работников;
- e) влияние предшествующих действий на текущее действие;
- f) информационное обеспечение операторов, уровень их подготовки и т.д.

5.110. Моделирование конкретных взаимодействий персонала следует контролировать с использованием соответствующих методов, например, процедур комплексной проверки или детального обсуждения. Кроме того, полезную информацию в поддержку анализа надежности действий оператора может дать наблюдение за работой оператора и взаимодействием персонала при учебных занятиях на тренажере.

5.111. Признается, что на вероятности ошибки оператора будет также оказывать влияние культура безопасности на станции. Однако в настоящее время не существует общепризнанного метода учета культуры безопасности при оценке вероятностей ошибки оператора.

Интерпретация взаимозависимостей между событиями, связанными с отказами по вине оператора

5.112. В логической модели могут наблюдаться взаимозависимости между включенными в нее отдельными событиями, связанными с отказами по вине оператора. Такие взаимозависимости могут возникать вследствие использования общих ключевых или процедурных моментов, некорректных процедур, неправильной диагностики или планирования действий по ответному реагированию и т.д. Зависимости между событиями, связанными с отказами по вине оператора, при наличии таковых, могут значительно увеличивать вероятность ошибки оператора. В процессе анализа следует

выявлять и выражать количественно взаимозависимости между событиями, связанными с отказами по вине оператора.

5.113. Следует идентифицировать все измеримые сечения (см. пункт 5.9), включающие несколько событий, связанных с отказами по вине оператора. Такие сечения могут быть идентифицированы путем присвоения вероятностям ошибки оператора высокого значения (например 0,9) и пересчета частоты повреждения активной зоны; после этого сечения, включающие нескольких событий, связанных с отказами по вине оператора, появятся в верхней части списка сечений. Для определения степени зависимости между ними следует рассмотреть множество событий, связанных с отказами по вине оператора, объединенных в одном сечении; вероятности ошибки оператора, используемые для квантификации модели, должны отражать данную степень зависимости.

ПРОЧИЕ ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Пассивные системы

5.114. Современной тенденцией является включение в проект станций эволюционной конструкции пассивных систем для обеспечения функции безопасности, таких, как отвод остаточного тепла и аварийное охлаждение активной зоны. Считается, что пассивные системы имеют более высокую надежность, чем активные, поскольку они не требуют наличия вспомогательных систем (например электропитания и охлаждающей воды), а также могут не требовать активного инициирования со стороны системы защиты.

5.115. Граничные условия функционирования каждой пассивной системы следует устанавливать посредством термогидравлического анализа, экспериментов и испытаний. Эти граничные условия будут касаться температуры, давления, инвентарного количества и других параметров системы. Если эти граничные условия удовлетворяются, то можно предположить, что пассивная система будет работоспособна. Если граничные условия не удовлетворяются, то предполагается, что пассивная система не сможет выполнять свои функции.

5.116. В процессе анализа следует моделировать отказ пассивной системы и оценивать вероятность такого отказа. Для соответствия граничным условиям при моделировании пассивной системы следует учитывать

вероятность отказа и применять стандартные методы моделирования дерева отказов для учета отказов компонентов системы (невозможность открытия невозвратных или предохранительных клапанов, блокирование трубопроводов и т.д.), ошибок оператора при наладке системы и невозможности инициирования (если требуется инициирование системы извне). Следует также учитывать неопределенности вспомогательного анализа.

Компьютерные системы

5.117. Компьютерные системы все шире используются в системах управления и защиты атомных электростанций, и данная тенденция, как ожидается, сохранится. Компьютерные системы опираются как на аппаратные средства, так и на программное обеспечение. Надежность аппаратных средств может быть оценена с использованием стандартных методов, а надежность программного обеспечения можно в определенной степени оценить с помощью верификационных и валидационных программ. Однако моделирование надежности компьютерной системы при ВОБ уровня 1 более затруднительно, чем моделирование механической системы, поскольку отсутствует единое мнение о том, как моделировать отказы программного обеспечения.

5.118. Поскольку отказы программного обеспечения могут играть доминирующую роль в общей вероятности отказа и в настоящее время расчет вероятностной модели отказа программного обеспечения не представляется возможным¹², необходимо дать оценку качества производства программного обеспечения, то есть: соблюдались ли при производстве программного обеспечения соответствующие процедуры, направленные на минимизацию вероятности ошибок; проводились ли соответствующие проверки с целью выявления ошибок в коде (статический анализ); проводилось ли соответствующее тестирование завершенного кода (динамическое тестирование).

¹² В данном контексте «вероятностная модель сбоя в программном обеспечении» рассматривается как означающая, с одной стороны, вероятность того, что после исходного события в компьютерную систему вводятся правильные значения параметров, однако по причине сбоя в программном обеспечении на выходе не генерируются корректные данные, а, с другой стороны, последствия этой ошибки.

5.119. В настоящее время в области надежности программного обеспечения ведутся активные исследования. Однако если решение относительно надежности программного обеспечения принимается с учетом всех соответствующих факторов, касающихся его разработки, производства и тестирования, оно может быть включено в ВОБ уровня 1.

5.120. Если система управления и защиты, либо две отдельные системы, выполняющие одну и ту же функцию безопасности, являются компьютерными системами, следует рассмотреть возможность наличия каких-либо зависимостей в аппаратных средствах и программном обеспечении двух компьютерных систем, и, если таковые имеются, учесть их при ВОБ уровня 1.

ДАННЫЕ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ВОБ УРОВНЯ 1

5.121. В пунктах 5.121-5.139 приведены рекомендации по данным, необходимым для определения частот возникновения исходных событий, вероятностей отказа компонентов, частот и продолжительностей нахождения компонентов в нерабочем состоянии. Данные, необходимые для определения вероятностей отказов по общим причинам и вероятностей ошибки оператора, рассматриваются в пунктах 5.95 и 5.107 соответственно. В пунктах 5.121-5.139 приведены также рекомендации по выполнению Требования 19 [3] относительно использования данных об опыте эксплуатации.

5.122. Одним из основных вопросов, требующих решения, является следующий: применимы ли имеющиеся данные к конструкции оборудования и режиму эксплуатации конкретной станции, если практический опыт эксплуатации данной станции ограничен или отсутствует.

5.123. По возможности необходимо использовать данные по конкретной станции, дополненные данными по аналогичным станциям, если они актуальны, так как это обеспечивает более обширный источник данных. Однако такие данные по новым станциям или по станциям, находящимся в эксплуатации относительно непродолжительное время, будут отсутствовать. В этом случае используются данные по аналогичным станциям, а если таковые отсутствуют – обобщенные данные по эксплуатации станций всех типов.

5.124. Если имеющиеся эксплуатационные данные не указывают на наличие отказов, то следует обосновывать задаваемые частоты исходных событий и вероятности отказов компонентов.

5.125. Для данных, используемых в ВОБ уровня 1, следует предусматривать соответствующее обоснование. Надлежащей практикой подготовки такого обоснования является сравнение данных и объяснение имеющихся расхождений. В целом, при выборе наилучшего источника данных необходимо сформировать оценочное суждение.

5.126. Если предполагается использование комбинации данных по конкретной станции и общих данных из различных источников, то следует предусмотреть обоснование методов выбора конкретных данных или методов объединения данных из более чем одного источника. Это может быть сделано с помощью байесовского подхода или оценочно.

5.127. Для исходных событий с низкой частотой возникновения или для оборудования с малой вероятностью отказов данные будут скудными или могут отсутствовать вовсе (даже обобщенные), и в таком случае значения, которые будут использоваться в ВОБ уровня 1, должны присваиваться путем обоснованного заключения. Следует объяснять аргументы, на которых основаны такие заключения.

Частоты возникновения исходных событий

5.128. Каждой группе исходных событий, моделируемых в ВОБ уровня 1, следует присвоить определенную частоту. При определении этой частоты следует учитывать все причины, определенные для исходного события.

5.129. В дополнение к методам, упомянутым в пунктах 5.123-5.127, еще одним способом оценки частот исходных событий является использование дерева отказов, представляющего логическую модель всех отказов оборудования и ошибок оператора, которые в сочетании могут вызвать исходное событие. Следует проверить соответствие прогнозов, полученных с помощью дерева отказов, практическому опыту эксплуатации.

5.130. Частоты, присвоенные часто происходящим исходным событиям, должны соответствовать практическому опыту эксплуатации конкретной станции и аналогичным станциям.

5.131. Для групп исходных событий следует рассчитать частоту. Частота для группы исходных событий представляет собой сумму частот всех отдельных исходных событий, составляющих данную группу.

5.132. В доклад по ВОБ уровня 1 следует включать описание каждого исходного события, определенного для станции, наряду со средним значением частоты исходного события, обоснованием присвоенного численного значения и указанием уровня неопределенности.

Вероятности отказов компонентов

5.133. Каждому компоненту или типу компонентов, включенным в анализ, следует присваивать вероятности отказов. Определение вероятностей отказов должно соответствовать типу компонента, режиму его эксплуатации, границам, определенным для компонента в модели ВОБ уровня 1, а также режимам его отказов.

5.134. Следует обеспечивать обоснование численных значений вероятностей отказов компонентов, используемых при квантификации ВОБ уровня 1.

5.135. Для таких компонентов, как насосы, от которых требуется функционирование в течение некоторого времени после аварийного останова, следует указывать заданную продолжительность работы. При определении заданной продолжительности работы следует принимать во внимание время, необходимое для достижения безопасного и стабильного продолжительного состояния останова, а также долгосрочных восстановительных действий. Для некоторых исходных событий, таких, как аварии с утечкой теплоносителя, заданные продолжительности работы могут быть очень большими.

5.136. В документации ВОБ уровня 1 следует представлять все данные по отказам компонентов, использованные при квантификации ВОБ уровня 1. В документацию следует включать описание границ компонента, типов отказов, средней вероятности отказов, неопределенностей, связанных с данными, использованных источников данных и обоснования использованных численных значений.

Частоты и продолжительности простоев компонентов

5.137. При квантификации ВОБ уровня 1 следует учитывать неготовность компонентов и систем по причине их испытаний, технического обслуживания или ремонта. Численные значения, используемые для выражения частот и длительностей простоев компонентов, должны реалистично отражать практические методики, применяемые или запланированные к применению на данной станции.

5.138. Когда это возможно, определение частот и длительностей простоев должно быть основано на данных по конкретной станции, полученных из анализа ведомостей технического обслуживания станции и ведомостей отсутствия готовности компонентов к эксплуатации, дополненных данными по аналогичным станциям. Если это невозможно, то могут использоваться обобщенные данные или данные производителей при условии наличия обоснования того, что указанные данные отражают практику эксплуатации станции.

5.139. В докладе о ВОБ уровня 1 следует представлять данные об отсутствии готовности компонентов к эксплуатации и обоснование использованных численных значений.

КВАНТИФИКАЦИЯ АНАЛИЗА

5.140. Логическую модель, разработанную в рамках ВОБ уровня 1, следует подвергать квантификации с использованием данных, указанных в пунктах 5.121-5.139. Затем рассчитываются частоты аварийных последовательностей с использованием данных по частотам исходных событий, вероятностям отказов компонентов, частотам и продолжительностям простоев компонентов, вероятностям отказов по общей причине и вероятностям ошибок оператора.

5.141. Для подхода с использованием комбинации малых деревьев событий и большого дерева отказов (подход связанных деревьев отказов, см. пункт 5.5), необходимо выполнить булево преобразование логических моделей, разработанных с использованием деревьев событий и деревьев отказов для каждой группы исходных событий. Перед квантификацией ВОБ уровня 1 следует убедиться, что в модели отсутствуют логические петли. Если такие петли существуют, необходимым условием квантификации

является их разрыв. В докладе по ВОБ уровня 1 следует подробно отразить, каким образом был осуществлен разрыв логических петель в модели.

5.142. В пунктах 5.142 и 5.143 приведены рекомендации по выполнению Требования 18 [3] относительно использования компьютерных кодов для ВОБ уровня 1. Квантификацию ВОБ уровня 1 следует выполнять с использованием соответствующего компьютерного кода, прошедшего полную валидацию и проверку. Ряд сложных компьютерных кодов ВОБ уровня 1, которые могут быть использованы для проведения такого анализа, присутствуют на рынке или были разработаны в разных странах.

5.143. Пользователям кодов следует обладать соответствующим опытом и иметь правильное представление о назначении и ограничениях кода.

5.144. В общие результаты квантификации модели ВОБ уровня 1 следует включать:

- a) частоту повреждения активной зоны (точечные оценки и границы неопределенностей или распределения вероятностей);
- b) влияние каждой группы исходных событий на частоту повреждения активной зоны;
- c) сечения и частоты сечений (для подхода связанных деревьев отказов) или сценарии и частоты сценариев (для подхода, использующего деревья событий с граничными условиями);
- d) результаты исследований чувствительности и анализа неопределенности;
- e) критерии важности (такие, как цена возрастания риска и цена снижения риска для основных событий), которые используются для интерпретации ВОБ уровня 1;
- f) частоты состояний повреждения станции, которые обеспечивают сопряжение между ВОБ уровня 1 и ВОБ уровня 2, где ВОБ уровня 1 будет использоваться в качестве исходных данных для ВОБ уровня 2.

5.145. Аналитикам следует проводить проверку того, что аварийные последовательности или сечения, определяемые решением модели ВОБ уровня 1, действительно ведут к повреждению активной зоны в соответствии с предположениями, сделанными в процессе выполнения ВОБ. Данную проверку следует выполнять для выборки последовательностей с концентрацией особого внимания на тех, которые вносят значительный вклад в риск. Кроме того, следует выполнить проверку с целью подтверждения того, что сечения, представляющие комбинации исходных

событий и отказов компонентов, ведущих к повреждению активной зоны, действительно включены в полученный список сечений.

5.146. Аналитику следует дать определение термина «значительный вклад в риск», используемого в пункте 5.145. Оно может принимать форму абсолютного критерия или относительного критерия (например, по отношению к суммарной частоте повреждения активной зоны).

5.147. Следует проводить проверку того, что любая пост-обработка сечений, выполненная для удаления взаимоисключающих событий или для введения восстановительных действий, в явном виде не включенных в модель ВОБ уровня 1, действительно дала правильные результаты. Пост-обработка обычно применяется при использовании подхода связанных деревьев отказов.

5.148. В документации по ВОБ уровня 1 следует приводить результаты квантификации ВОБ уровня 1, а также описания наиболее значимых последовательностей и сечений (для комплексного подхода деревьев отказов) и всех выполненных пост-обработок.

5.149. Аналитику следует дать определения терминов «значимая последовательность» и «значимое сечение», используемых в пункте 5.148. Они могут принимать форму абсолютных критериев или относительных критериев (например, по отношению к суммарной частоте повреждения активной зоны).

5.150. При квантификации ВОБ уровня 1 необходимо задавать отсечки с целью ограничения времени, затраченного на анализ. Обычный подход заключается в задании отсечки частоты таким образом, чтобы сечения с более низкой частотой не включались в анализ. (Можно также задавать отсечку порядка таким образом, чтобы сечения с порядком выше заданного уровня не включались в анализ.). Следует предоставить обоснование того, что отсечка была задана на достаточно низком уровне, так что общий результат ВОБ уровня 1 сходится, и отсечка не приводит к значительному занижению оценки частоты повреждения активной зоны. Выбор отсечки может варьироваться в зависимости от применения ВОБ.

АНАЛИЗ ЗНАЧИМОСТИ, ИССЛЕДОВАНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ

Анализ значимости

5.151. Для интерпретации результатов ВОБ следует рассчитывать и применять показатели значимости основных событий, групп основных событий, систем безопасности, групп исходных событий и т.д. К показателям значимости, используемым в ВОБ уровня 1, обычно относятся:

- a) показатель значимости Fussell–Vesely¹³;
- b) цена снижения риска¹⁴;
- c) цена возрастания риска¹⁵;
- d) показатель значимости Birnbaum¹⁶.

Различные показатели значимости дают представление о том, какие основные события и т.д. вносят наибольший вклад в текущую оценку риска (значимость по Fussell–Vesely, цена снижения риска), какие вносят наибольший вклад в поддержание уровня безопасности (цена возрастания риска), и к каким основным событиям результаты наиболее чувствительны (значимость по Birnbaum).

¹³ Для конкретного основного события показатель значимости Fussell–Vesely является относительным вкладом в общую частоту повреждений активной зоны для всех аварийных последовательностей, содержащих оцениваемое основное событие.

¹⁴ Цена снижения риска представляет собой относительное снижение частоты повреждений активной зоны, если вероятность определенного режима отказов считается равной нулю. Цена снижения риска является непосредственной функцией надежности оборудования и может быть использована для оценки влияния режима отказов на частоту повреждений активной зоны.

¹⁵ Цена возрастания риска представляет собой относительное увеличение частоты повреждений активной зоны в случае, если отказ конкретной единицы оборудования считается определенным. Цена возрастания риска является критерием значимости функции, выполняемой оборудованием. Она определяет оборудование, играющее важную роль с точки зрения безопасности, даже если интенсивность отказов такого оборудования очень низка.

¹⁶ Показатель значимости Birnbaum является мерой возрастания риска при отказе компонента по сравнению с ситуацией, когда компонент исправно функционирует.

Типы неопределенностей

5.152. В пунктах 5.152-5.160 приводятся рекомендации по выполнению Требования 17 [3] относительно анализа неопределенностей и чувствительности для ВОБ уровня 1. Следует признать присутствие неопределенностей в разработанных моделях и данных, используемых в ВОБ уровня 1. Эти неопределенности следует учитывать при использовании результатов ВОБ для достижения понимания риска или в поддержку решения. Это может быть сделано путем проведения исследований чувствительности или анализа неопределенностей, по мере необходимости. Неопределенности в ВОБ уровня 1, как правило, делятся на три основные категории следующим образом:

- 1) **неопределенность, связанная с неполнотой:** общей целью ВОБ уровня 1 является проведение систематического анализа для выявления всех аварийных последовательностей, которые вносят вклад в частоту повреждения активной зоны. Однако нет никакой гарантии, что данный процесс удастся завершить и что будут выявлены и должным образом оценены все возможные сценарии. Данная потенциальная неполнота вносит в результаты и выводы анализа неопределенность, которую затруднительно оценить или измерить. Разрешение такого рода неопределенности в явном виде невозможно;
- 2) **неопределенность моделирования:** она возникает в связи с отсутствием полных знаний о правомерности применения методов, моделей, допущений и приближений, используемых в анализе. Значимость некоторых из них можно установить путем исследований чувствительности;
- 3) **неопределенность параметров:** она возникает вследствие неопределенностей в параметрах, используемых при квантификации ВОБ уровня 1. Это вид неопределенности, которая обычно разрешается путем анализа неопределенности через установление распределений неопределенностей для всех параметров и распространение их через анализ.

5.153. Необходимо рассмотрение вопроса о том, как использовать информацию о неопределенности в оценке проекта и в процессе принятия решений. Тем не менее, следует отметить, что критерии риска или заданные значения частоты повреждения активной зоны чаще относятся к точечным

оценкам¹⁷, чем к распределению неопределенностей. Способ, которым ВОБ уровня 1 используется для выявления недостатков, также в большей степени относится к точечным оценкам, чем к распределению неопределенностей.

Исследования чувствительности

5.154. Следует проводить исследования с целью определения чувствительности результатов ВОБ уровня 1 к сделанным допущениям и используемым данным.

5.155. Исследования чувствительности следует проводить в отношении допущений и данных, имеющих значительный уровень неопределенности и способных оказать существенное влияние на результаты ВОБ уровня 1. Исследования чувствительности следует проводить путем повторной квантификации анализа с использованием альтернативных допущений или с использованием диапазона численных значений для данных, отражающего уровень неопределенности.

5.156. Аналитику следует дать определение термина «существенное влияние на результаты ВОБ уровня 1», используемого в пункте 5.155. Оно может принимать форму численного критерия в абсолютном или относительном виде (см. пункт 5.146), качественного критерия (например, введение новой аварийной последовательности) или сочетания количественных и качественных критериев (например, введение новой значимой аварийной последовательности).

5.157. Результаты исследований чувствительности следует использовать для указания уровня уверенности в результатах, полученных с помощью ВОБ, т.е.: соблюдается ли критерий или целевой показатель повреждения активной зоны, является ли проект сбалансированным, имеются ли в проекте и процессе эксплуатации станции слабые места, которые не были выявлены в базовом варианте ВОБ уровня 1, с которым сравниваются сценарии чувствительности.

5.158. Следует отметить, что исследования чувствительности, как правило, осуществляются в отношении одного допущения или одного параметра

¹⁷ В данном контексте предназначением точечной оценки является либо точечная оценка, которая обычно рассчитывается с помощью компьютерной программы ВОБ, либо иной параметр, либо квантиль распределения вероятностей (такой, как среднее значение или медиана).

на исследование и что результаты исследований чувствительности не имеют статистической значимости. Также можно провести анализ чувствительности соответствующих комбинаций допущений.

Анализ неопределенностей

5.159. Анализ неопределенностей следует выполнять с целью определения неопределенности в результатах ВОБ уровня 1, связанной с данными, использованными при квантификации ВОБ уровня 1.

5.160. Для параметров, использованных при квантификации ВОБ уровня 1, следует задавать распределения неопределенности. Это следует делать в рамках анализа данных. Распределения неопределенности следует распространять посредством анализа с целью выявления неопределенностей в частотах появления групп исходных событий, частоте повреждения активной зоны и т.д. Данные неопределенности следует использовать для указания уровня уверенности в том, что выполняется критерий или целевой показатель риска.

6. ОБЩАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ВОБ УРОВНЯ 1 ДЛЯ ВНУТРЕННИХ И ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ

ВВЕДЕНИЕ

6.1. Помимо случайных отказов компонентов и ошибок оператора (как обсуждено в разделе 5), способных приводить к внутренним исходным событиям, причиной аварийных последовательностей могут стать повреждения, возникшие в результате воздействия других опасностей. В данном разделе приводятся рекомендации по выполнению Требований 6-13 [3] для ВОБ уровня 1 в части прочих опасностей, которые могут быть классифицированы следующим образом:

- а) **внутренние опасности**, исходящие от источников, расположенных на площадке атомной электростанции как внутри, так и вне станционных сооружений. Примерами внутренних опасностей являются внутренние

пожары, внутренние затопления, разлет обломков при разрушении турбин, транспортные аварии на площадке и выбросы токсичных веществ из хранилищ на площадке;

- б) **внешние опасности**, исходящие от источников, расположенных вне территории площадки атомной электростанции. Примерами внешних опасностей являются сейсмическая активность, внешние пожары (например, близлежащий лесной пожар, угрожающий станции), внешние наводнения, сильный ветер и перемещаемые им предметы, аварии транспорта за пределами территории площадки, выбросы токсичных веществ из хранилищ за пределами территории площадки и суровые погодные условия.

Такие опасные воздействия могут приводить к повреждению компонентов станции и, таким образом, создавать аварийные последовательности, способные приводить к повреждению активной зоны (или к другим конечным состояниям, в зависимости от ситуации, если таковые должны быть учтены в ВОБ уровня 1). Зачастую данные опасности могут потенциально воздействовать на множество различных единиц оборудования одновременно и оказывать негативное воздействие на персонал станции. В ВОБ уровня 1 следует включать как внутренние, так и внешние опасности¹⁸.

ПРОЦЕСС АНАЛИЗА

6.2. К идентификации внутренних и внешних опасностей и анализу их влияния на частоту повреждения активной зоны реактора следует применять последовательный подход. Основные этапы анализа внутренних и внешних опасностей, как правило, включают:

- 1) сбор первичной информации о внутренних и внешних опасностях;
- 2) идентификацию опасностей, в том числе одиночных и комбинированных;
- 3) скрининг-анализ опасности, как количественный, так и качественный;
- 4) граничную оценку;

¹⁸ В настоящем руководстве по безопасности не содержатся рекомендации, касающиеся событий, происходящих вследствие военных действий, актов саботажа или терроризма. Тем не менее, следует учитывать случайные опасности, связанные с военными объектами или военной деятельностью в мирное время (например, катастрофа военного самолета).

5) детальный анализ.

Общий подход к анализу наглядно показан на рис. 2.

6.3. Хотя этапы идентификации и скрининга опасностей для внутренних и внешних опасностей одинаковы, граничная оценка и детальный анализ каждой опасности могут включать задачи, уникальные для рассматриваемой опасности – например, для случаев внутреннего пожара будет необходимо анализировать распространение пожара. В данном разделе рассматриваются вопросы идентификации и скрининга опасностей, общие для внутренних и внешних опасностей; конкретные рекомендации по граничной оценке и детальному анализу конкретных видов опасных воздействий рассматриваются в разделе 7 (внутренние опасности) и в разделе 8 (внешние опасности).

6.4. Все потенциальные внутренние и внешние опасности, способные негативно воздействовать на работу станции, следует рассматривать и, по мере необходимости, подвергать скрининг-анализу, граничной оценке или детальному анализу.

6.5. Как поясняется в пункте 5.141, при ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий с целью устранения логических петель разработаны сокращенные модели дерева отказов, из которых удалены субмодели, представляющие случайные отказы компонентов. Например, для устранения логической петли между системами технического водоснабжения и электроснабжения удаляют связи с деревьями отказов конкретных шин. Зависимые отказы данных компонентов (случайные отказы которых были исключены из логической модели) в результате воздействия внутренних и внешних опасностей следует включать в модели ВОБ уровня 1 для внутренних и внешних опасностей.

СБОР ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ

6.6. В начальной точке ВОБ уровня 1 для внутренних и внешних опасностей следует собрать всю доступную информацию, непосредственно связанную с внутренними и внешними опасностями. В данную информацию следует включать, как минимум:

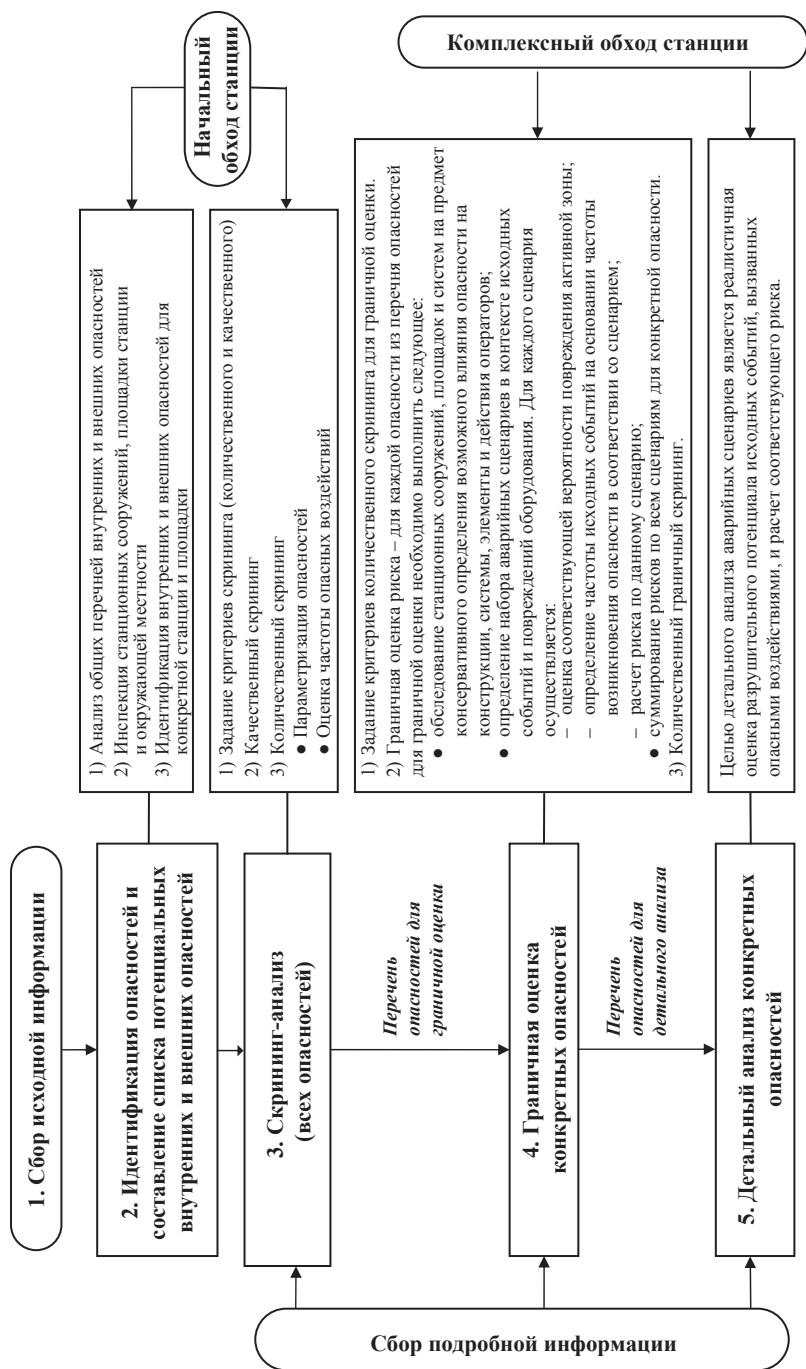


РИС.2. ВОВ уровня 1 – общий подход к анализу внутренних и внешних опасностей

- a) проектную информацию, касающуюся внутренних и внешних опасностей, рассмотренных в документации по техническому обоснованию безопасности;
- b) перечень и план расположения станционных зданий, конструкций, систем и элементов;
- c) общую компоновку станции, топографию площадки и окрестностей;
- d) информацию о расположении трубопроводов, транспортных маршрутов и складских помещений для хранения опасных материалов на площадке станции и за ее пределами;
- e) сведения о расположении промышленных объектов в непосредственной близости от площадки;
- f) исторические сведения о возникновении любых внутренних и внешних опасностей на площадке, в регионе и т.д.

6.7. Исходную информацию следует обновлять и дополнять в ходе выполнения ВОБ уровня 1 для внутренних и внешних опасностей, в зависимости от необходимой степени детализации скрининг-анализа, граничной оценки или детального анализа для каждой опасности.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОПАСНОСТЕЙ

6.8. Целью идентификации опасностей является создание полного перечня потенциальных внутренних и внешних опасностей. Примеры конкретных опасностей:

Внутренние опасности для промышленных зданий:

- a) внутренние пожары;
- b) внутренние затопления;
- c) разлет обломков внутри помещений;
- d) внутренние взрывы;
- e) падения тяжелых предметов.

Внешние природные опасности:

- a) сейсмические опасности;
- b) внешние пожары;
- c) внешние наводнения;
- d) сильные ветры;

- e) биологические явления, например, ненормальный рост популяции рыбы в пруду-охладителе;
- f) экстремальные метеорологические условия¹⁹.

Внешние антропогенные опасности:

- a) взрывы за пределами станции;
- b) выбросы токсичных веществ за пределами станции;
- c) авиакатастрофы.

6.9. Для обеспечения того, чтобы процесс идентификации опасностей был всеобъемлющим и отслеживаемым, следует использовать двухэтапный подход:

- 1) использование признанных на международном уровне методов анализа внутренних и внешних опасностей. В качестве отправной точки в перечень следует включать опасности, перечисленные в различных тематических публикациях МАГАТЭ (см., например, [8-10]) и рассмотренные в предшествующих исследованиях. В Приложении I приведен примерный перечень потенциальных внутренних и внешних опасностей;
- 2) идентификация внутренних и внешних опасностей применительно к конкретной площадке и конкретной станции в структурных рамках, что позволяет осуществить всеобъемлющую проверку.

6.10. Для существующих станций неотъемлемой частью процесса идентификации внутренних и внешних опасностей являются обследование площадки и обход станции.

6.11. Следует составить перечень потенциальных комбинированных опасностей. Комбинации опасностей могут оказывать значительно более сильное воздействие на безопасность станции, чем каждая опасность, рассматриваемая отдельно, а частота возникновения комбинации опасностей может быть сравнима с частотой возникновения отдельных опасностей – например, повышение уровня воды вследствие выпадения ливневых осадков и прорыв плотины вследствие выпадения ливневых

¹⁹ Согласно [8], к экстремальным метеорологическим условиям относятся экстремальные температуры, экстремальная влажность атмосферного воздуха, снежные осадки (включая метели), обледенение, грозовые разряды. С этими опасностями могут быть связаны и другие, например, образование внутриводного льда, мороз и град.

осадков. В процесс идентификации опасностей следует включать выявление всех комбинаций опасностей, значимых для уровня риска.

6.12. Возможные комбинации опасностей следует идентифицировать на основе перечня отдельных внутренних и внешних опасностей. Перед проведением скрининг-анализа для этой цели следует использовать весь список потенциальных опасностей. Как правило, комбинации опасностей включают только природные опасности (например, сочетание сильного ветра и высокого уровня морской воды). Тем не менее, комбинации природных и антропогенных опасностей также возможны и не могут быть исключены априори (например, повышенный риск аварий судов в суровых погодных условиях).

6.13. Общий подход, используемый для идентификации реалистичного набора комбинаций опасностей, следует основывать на систематической проверке зависимостей между всеми внутренними и внешними опасностями. Следует рассматривать перечисленные ниже причины возникновения комбинаций опасностей:

- a) опасности, которые в одинаковых условиях потенциально могут возникать одновременно (например, сильные ветры и снежные осадки);
- b) одна внешняя опасность может стать причиной возникновения других внешних опасностей (например, вызванное сейсмической активностью наводнение может привести к прорыву плотины);
- c) внешние опасности могут стать причиной возникновения внутренних опасностей (например, в результате сейсмического воздействия могут возникать внутренние пожары или затопления);
- d) одна внутренняя опасность может стать причиной возникновения других внутренних опасностей (например, разлет обломков может стать причиной внутренних затоплений).

Влияние комбинаций опасностей на функции безопасности следует подвергать повторной оценке, поскольку комбинация опасностей может

воздействовать на различные функции безопасности или на одну функцию, но значительно более жестко, чем отдельная опасность²⁰.

СКРИНИНГ ОПАСНОСТЕЙ

6.14. Как правило, организуется процесс последовательного скрининга с целью сведения к минимуму внимания, уделяемого малозначимым с точки зрения риска внутренним и внешним опасностям, и сосредоточения на анализе опасностей, имеющих высокую значимость с точки зрения риска. Процесс последовательного скрининга следует применять единообразно, а критерии скрининга следует задавать таким образом, чтобы не был упущен ни один из факторов, вносящих значительный вклад в риск, создаваемый любой внутренней или внешней опасностью, относящейся к станции или площадке. Результаты процесса скрининга следует представлять в документации ВОБ уровня 1.

6.15. Как правило, применяются следующие критерии скрининга, которые могут быть использованы как по отдельности, так и в комбинациях:

- a) на основе качественных аргументов, опасность не повлечет за собой возникновения исходного события. Для внешних опасностей этот критерий обычно применяется в тех случаях, когда опасность не может возникнуть достаточно близко к станции для оказания негативного воздействия. Выполнение данного критерия будет также от интенсивности проявления опасности;
- b) развитие опасности будет происходить медленно, и может быть доказано, что для устранения источника угрозы или принятия адекватных ответных мер будет достаточно времени;
- c) опасность включена в определение другой опасности;

²⁰ Ниже приведены примеры некоторых потенциальных комбинаций внешних опасностей:

- a) засуха (вследствие высокой температуры воздуха), сильный ветер и дым от лесных пожаров;
- b) сильный ветер и гроза;
- c) высокая температура воздуха и высокая температура воды;
- d) снегопад и сильный ветер;
- e) метель и сильный ветер;
- f) метель, сильный ветер и образование внутриводного льда.

- d) средняя частота возникновения опасности значительно ниже, чем других опасностей с аналогичными неопределенностями, и эта опасность не приведет к последствиям, более тяжелым, чем те, которые связаны с другими опасностями. Неопределенность оценки частоты возникновения отобранной таким образом опасности считается существенно не влияющей на суммарный риск.

6.16. Количественные критерии скрининга опасностей должны зависеть от общей цели ВОБ уровня 1 и быть связаны с частотой повреждения активной зоны, определяемой внутренними исходными событиями, а также внутренними и внешними опасностями. Опасности, имеющие весьма низкую частоту возникновения, но потенциально способные вызывать тяжелые последствия в плане выбросов радиоактивных материалов, следует учитывать для целей ВОБ уровня 2.

6.17. Ни один из критериев, перечисленных в пункте 6.15, не применим к внутренним опасностям, возникающим внутри зданий на станции. Эти опасности не следует отсеивать, как целую категорию опасностей, но они всегда должны являться предметом граничного или детального анализа.

6.18. Следует определять наиболее важные параметры, касающиеся разрушительного потенциала внутренних и внешних опасностей. Если разрушительный потенциал опасности не может быть определен путем рассмотрения лишь одного параметра, следует задавать несколько параметров. При проведении скрининг-анализа следует учитывать все параметры, определенные для опасностей (например, уровень воды и давление потока).

6.19. Следующие внешние опасности не следует отсеивать, как целую категорию опасностей:

- a) сейсмические опасности;
- b) антропогенные опасности;
- c) опасности, связанные с воздействием ветра.

6.20. Для исключения конкретных опасностей, связанных с воздействием сильного ветра, следует доказать, что климатические условия, характерные для места расположения станции, подтверждают допущение о недостаточной для нанесения станции повреждения интенсивности воздействия (например, ураганы в удаленных от побережья областях). Опасности воздействия ветра, имеющие определенный разрушительный потенциал, не

следует учитывать только в случае, если продемонстрировано, что частота случаев превышения определенной скорости ветра незначительна. Следует рассматривать сочетание ветра с другими опасностями, такими как дожди и наводнения. При проведении скрининга необходимо включать в анализ возможность захвата предметов ветром (в основном, в случае торнадо или ураганов) и превращения их в летящие предметы.

6.21. При проведении процесса скрининга опасностей внешних наводнений следует учитывать:

- a) расположение атомной электростанции, ее удаленность от реки, моря или озера, и возможность того, что наводнение достигнет площадки станции;
- b) время оповещения²¹:
 - i) может быть достаточно продолжительным для проведения операций по остановке оборудования станций, площадки которых расположены на берегах рек (например, более чем за сутки);
 - ii) для станций, площадки которых расположены вблизи морского побережья, время оповещения значительно короче и иногда может составлять всего несколько часов или, в случае локального цунами, несколько минут;
 - iii) помимо времени оповещения, следует также учитывать времязависимые вероятности успешного приема оповещения и успешного принятия потенциальных превентивных мер;
- c) тип имеющегося водозадерживающего сооружения;
- d) имеется вероятность затопления прилегающих районов и подъема уровня воды выше ожидаемого. Вероятность затопления станции, расположенной на краю узкой речной поймы, выше, чем станции, расположенной в области широкой дельты.

6.22. Для каждой внутренней опасности, возникающей вне станционных сооружений, а также для каждой внешней опасности следует определить и использовать в процессе скрининга приблизительную максимально возможную интенсивность воздействия с учетом пессимистических допущений о ходе событий, последующих за первичной аварией.

²¹ Время оповещения – это интервал времени, в течение которого возможное наводнение распространится от основного источника (реки, расположенного выше по течению водохранилища, плотины) до площадки, и поэтому оно также непосредственно связано с точностью прогнозирования.

6.23. Если критерии скрининга не могут быть применены к опасности в целом, но могут быть применены к опасному воздействию определенной интенсивности, следует разделить опасность в целом на подкатегории и применять критерии скрининга к каждой подкатегории во избежание отсева опасностей, имеющих низкую частоту возникновения, но высокий разрушительный потенциал.

6.24. Происходящие на станции исходные события могут быть результатом воздействия одной опасности или комбинации двух или более опасностей. При использовании критериев скрининга следует представить обоснование того, что опасности, совокупное воздействие которых может приводить к тяжелым последствиям, не будут исключены из дальнейшего рассмотрения даже в том случае, если при рассмотрении по отдельности каждая из них оказывает незначительное влияние на общий риск²².

6.25. При применении критериев скрининга следует проводить рассмотрение текущего состояния АЭС и ее окрестностей, с тем чтобы убедиться, что внесенные в первоначальный проект изменения несут незначительные или учтены в ВОБ. В частности, следует тщательно изучать те изменения, которые могут приводить к появлению новых опасностей или к увеличению частоты возникновения опасных воздействий определенной интенсивности²³.

²² Примером такой комбинации являются сильные ветры и внешние наводнения. Даже если каждая опасность по отдельности может быть отсеяна в результате скрининга, сочетание данных опасностей может значительно более сильно повлиять на риск для АЭС – например, в случае наводнения, сопровождающегося или вызванного сильными ветрами.

²³ Следующие ниже примеры изменений приведены для целей иллюстрации:

- а) изменения военных и промышленных объектов в радиусе 30 км от площадки или изменения близлежащих транспортных маршрутов (например, железных дорог, маршрутов следования самолетов, шоссе, рек), ведущие к изменениям диапазона и интенсивности внешних опасностей антропогенного происхождения;
- б) изменения в строительстве речных плотин, расположенных выше по течению относительно площадки станции, ведущие к возрастанию разрушительного потенциала внешней опасности наводнения;
- с) изменения условий окружающей среды (среднегодовой скорости ветра и максимальной годовой скорости ветра, уровня воды, температуры, количества местных осадков и т.д.), ведущие к увеличению частоты возникновения внешних опасностей природного происхождения с более высоким разрушительным потенциалом и т.п.

7. ОСОБЕННОСТИ ВОБ УРОВНЯ 1 ДЛЯ ВНУТРЕННИХ ОПАСНОСТЕЙ

ВВЕДЕНИЕ

7.1. В данном разделе приводятся рекомендации по выполнению Требований 6-13 в [3] относительно ВОБ уровня 1 в контексте внутренних опасностей. Конкретные рекомендации предназначены для ВОБ уровня 1 и относятся к следующим внутренним опасностям для атомных электростанций (прочие внутренние опасности в настоящем руководстве по безопасности явно не рассматриваются, но могут быть рассмотрены с использованием аналогичных подходов):

- a) внутренние пожары;
- b) внутренние затопления;
- c) падения тяжелых предметов;
- d) разлет обломков при разрушении турбин;
- e) внутренние взрывы.

ГРАНИЧНАЯ ОЦЕНКА И ДЕТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВНУТРЕННИХ ОПАСНОСТЕЙ ДЛЯ ВОБ УРОВНЯ 1

7.2. Опасности, которые могут возникать внутри станционных зданий, следует рассматривать в рамках граничной оценки и/или детального анализа; консервативный скрининг-анализ обычно не проводится (многочисленные исследования показали, что такие внутренние опасности зачастую вносят существенный вклад в общий риск). Для граничной оценки и детального анализа при ВОБ уровня 1 для внутренних опасностей в контексте следует применять последовательный подход. Как правило, он обычно включает в себя следующие задачи:

- a) сбор информации о станции и площадке, сопровождаемый, когда это возможно, обходами станции;
- b) определение характеристик опасностей: идентификация опасностей, расчет частоты возникновения опасностей и анализ воздействия опасностей;
- c) интеграция ВОБ уровня 1 для внутренних опасностей с ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий:

- d) определение исходных событий, вызываемых воздействием внутренних опасностей;
- e) идентификация необходимых изменений в существующих деревьях событий и деревьях отказов ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий;
- f) анализ конкретных зависимостей и отказов по общей причине;
- g) анализ конкретных данных;
- h) анализ конкретных аспектов надежности оператора;
- i) качественный и/или количественный скрининг.
- j) квантификация вклада внутренних опасностей в частоту повреждения активной зоны (анализ результатов, исследования чувствительности, анализ неопределенностей и значимости).
- k) документация (с конкретным рассмотрением использованных в процессе анализа допущений и ссылок, включая обеспечение качества).

7.3. Некоторые внутренние опасности (внутренние взрывы, пожары, затопления и т.д.) могут возникать в различных точках станции (в помещениях, зданиях или других зонах площадки). В таких случаях при определении характеристик опасности следует указывать:

- a) во-первых, общий граничный анализ станции с учетом всех возможных мест, которые могли бы способствовать повышению риска возникновения опасности;
- b) во-вторых, замкнутые пространства станции, с учетом предположения, что существующие механизмы защиты (физическое разделение, ограждения, изоляция оборудования и т.д.), предусмотренные проектом станции, будут эффективно препятствовать распространению опасности за пределы рассматриваемой зоны.

7.4. После процесса скрининга следует с использованием ВОБ уровня 1 для данных опасностей определить влияние внутренних опасностей на частоту повреждения активной зоны. ВОБ уровня 1 для внутренних опасностей должна основываться на модели чувствительности станции, разработанной для ВОБ уровня 1 в контексте внутренних исходных событий, для режимов работы как на номинальной, так и на пониженной мощности и для состояния останова. Наличие ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий является предварительным условием разработки ВОБ уровня 1 для внутренних опасностей. В результате анализа опасностей могут быть выявлены новые исходные события, помимо тех, которые были выявлены в ходе выполнения ВОБ уровня 1 для внутренних исходных

событий (например, потеря всей информации на блочном щите управления в результате пожара). В таких случаях следует разрабатывать и включать в ВОБ уровня 1 новые аварийные последовательности.

7.5. Для целей упрощенной количественной оценки риска, связанного с конкретной внутренней опасностью или для скрининга замкнутых пространств станции, как указано в пункте 7.3, частота повреждения активной зоны может быть оценена без детальной модели ВОБ уровня 1 для внутренних опасностей. В этом случае используется общая формула для расчета совокупного влияния внутренних опасностей на частоту повреждения активной зоны:

$$f_{\text{hazard core damage}} = \sum f_{\text{hazard in plant area } i} \times \text{CCDP}_i$$

где:

$f_{\text{hazard core damage}}$ вклад конкретной внутренней опасности в частоту повреждения активной зоны;

$f_{\text{hazard in plant area } i}$ частота возникновения конкретной внутренней опасности в зоне « i » станции;

CCDP_i условная вероятность повреждения активной зоны для зоны « i » станции, оцененная с использованием ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий и адаптированная к консервативным допущениям в соответствии с воздействием внутренней опасности в зоне « i ».

7.6. При анализе воздействия следует учитывать влияние вызванных опасным воздействием отказов компонентов на исходные события, включенные в ВОБ, и на соответствующие функции безопасности, смягчающие последствия аварийных ситуаций. Для снижения излишнего консерватизма, ведущего к завышению оценки риска, создаваемого опасностью, следует проводить детальный анализ, основанный на физических исследованиях (например, моделировании сценариев пожара или распространения затопления).

7.7. Потенциальный отказ средств защиты (таких, как ограждения или физическое разделение), который может привести к распространению опасности на другие зоны станции, следует рассматривать с помощью конкретного детального анализа опасностей.

7.8. Базовую информацию о станции и площадке следует получать из чертежей или баз данных. Для действующих станций такую информацию следует проверять и дополнять путем проведения обходов станции.

7.9. Поскольку информация, полученная путем обходов станции, может иметь большое значение в контексте ВОБ уровня 1 для внутренних опасностей, такие обходы следует тщательно планировать, организовывать и документировать.

7.10. Обходы станции желательно выполнять в начале процесса разработки ВОБ уровня 1 для внутренних опасностей, однако для решения некоторых задач (например, для детального анализа отдельных опасностей) может потребоваться организация специальных обходов.

7.11. Сочетание вероятностей отказов важных для безопасности компонентов в результате опасных воздействий и вероятностей независимых отказов в модели ВОБ уровня 1 выражается в увеличении частоты повреждения активной зоны в результате опасных воздействий.

АНАЛИЗ ВНУТРЕННИХ ПОЖАРОВ

Общие сведения

7.12. ВОБ уровня 1 для внутренних пожаров представляет собой вероятностный анализ возгораний на площадке атомной электростанции и их потенциального влияния на безопасность. При использовании вероятностных моделей в ВОБ уровня 1 для внутренних пожаров следует принимать во внимание:

- a) вероятность пожара в любой точке атомной электростанции;
- b) потенциальную возможность распространения пожара на другие участки;
- c) средства противопожарной сигнализации, пожаротушения и локализации пожаров;
- d) возможность повреждения оборудования в результате срабатывания систем пожаротушения (например, разбрызгивание воды и затопление в результате работы систем пожаротушения может приводить к выходу из строя оборудования, которое могло бы выдержать пожар, или может быть изменен режим отказа такого оборудования);

- e) воздействие огня на элементы оборудования (компоненты, а также связанные с ними СКУ, сигнальные и силовые кабели). В рассматриваемые эффекты следует включать новые виды отказов, вызванные ложными срабатываниями оборудования вследствие воздействия повышенных температур;
- f) вероятность повреждения такого оборудования, а также, в случае сильного пожара – вероятность нарушения целостности стационарных конструкций (стен, потолков, колонн, балок перекрытий и т.д.);
- g) влияние случайных отказов оборудования и ошибок оператора;
- h) влияние пожара на действия оператора, как прямое (например, необходимость эвакуации персонала щита управления), так и косвенное (например, получение некорректной информации в результате ложных показаний приборов).

7.13. Наличие физического разделения (противопожарных перегородок) между резервирующими каналами важного для безопасности оборудования может снизить степень ущерба от пожара. Поэтому при количественной оценке влияния пожара на частоту повреждения активной зоны в модели ВОБ уровня 1 для внутренних пожаров в общем случае следует учитывать вероятности случайных отказов оборудования, не пострадавшего от пожара, а также возможность вывода его из эксплуатации для проверки или технического обслуживания.

7.14. В частности, в ВОБ уровня 1 для внутренних пожаров следует учитывать воздействие дыма в следующем контексте:

- a) задымление может стать причиной отказов электронных устройств;
- b) экстремальные условия окружающей среды при пожаре (токсичный или раздражающий дым, высокая температура) могут повысить вероятность ошибок оператора;
- c) задымление может вызвать необходимость эвакуации персонала блочного щита управления.

7.15. При ВОБ уровня 1 для внутренних пожаров в режимах работы на пониженной мощности или останова следует учитывать следующие конкретные аспекты:

- a) конкретные вопросы методологии ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий в режимах работы на пониженной мощности или останова, представленные в разделе 9;

- b) следует проводить отдельный скрининг с учета повышенных нагрузок при пожарах и большого количества потенциальных источников возгорания, в частности, временного присутствия огнеопасных веществ, связанного с операциями по техническому обслуживанию, выполняемыми в режимах работы на пониженной мощности или останова;
- c) наличие средств противопожарной защиты;
- d) потенциальные пути распространения пожара (например, в режимах пониженной мощности или останова некоторые двери могут быть открыты); увеличение количественного присутствия персонала в различных местах станции во время периодов простоя или отключения оборудования может положительно влиять на процесс обнаружения возгорания;
- e) связанные с противопожарной безопасностью эксплуатационные и конфигурационные изменения, внесенные для контроля огнеопасных веществ и выполненные с целью обеспечения компенсационных мер в периоды простоя системы или ее компонентов.

7.16. Детерминистический анализ пожарной опасности, выполненный в процессе проектирования (см. [9]) и эксплуатации (см. [11]) станции, следует использовать в качестве источника важных исходных данных для ВОБ уровня 1 в отношении внутренних пожаров, например, перечень компонентов и кабелей, их расположение, деление станции на противопожарные отсеки с учетом функционального анализа и детального анализа последствий пожара, выполненных в процессе проектирования средств противопожарной защиты.

7.17. Подход к ВОБ уровня 1 для внутренних пожаров следует основывать на систематическом анализе всех участков на территории станции. Для облегчения проведения данной экспертизы станцию следует поделить на отдельные физические единицы («противопожарные отсеки»²⁴), которые затем подвергаются тщательному индивидуальному изучению. В качестве отправной точки для такого разделения на физические области может оказаться полезным проектное деление станции на отдельные зоны. Критерии, применяемые для определения отдельных противопожарных

²⁴ Согласно [9], пожарный отсек определяется как здание или часть здания, полностью окруженная противопожарными перегородками, т.е., всеми стенами, полом и потолком. В отличие от этого определения, в контексте ВАБ для внутренних пожаров пожарный отсек может представлять собой должным образом замкнутое помещение, не обязательно окруженное противопожарными перегородками.

отсеков, следует обосновывать и документировать. В процессе определения отдельных противопожарных отсеков для использования в ВОБ уровня 1 аналитик может проявлять некоторую гибкость. Например, с целью упрощения проведения скрининг-анализа аналитик может условно объединить несколько противопожарных отсеков в один. Деление станции на большое количество мелких участков может не представлять необходимости, по крайней мере, на ранней стадии анализа с помощью ВОБ.

7.18. Процесс разработки ВОБ уровня 1 для внутренних пожаров обычно включает в себя задачи, показанные на рис. 3 и представленные в пунктах 7.19-7.65. В контексте настоящего руководства по безопасности сценарий

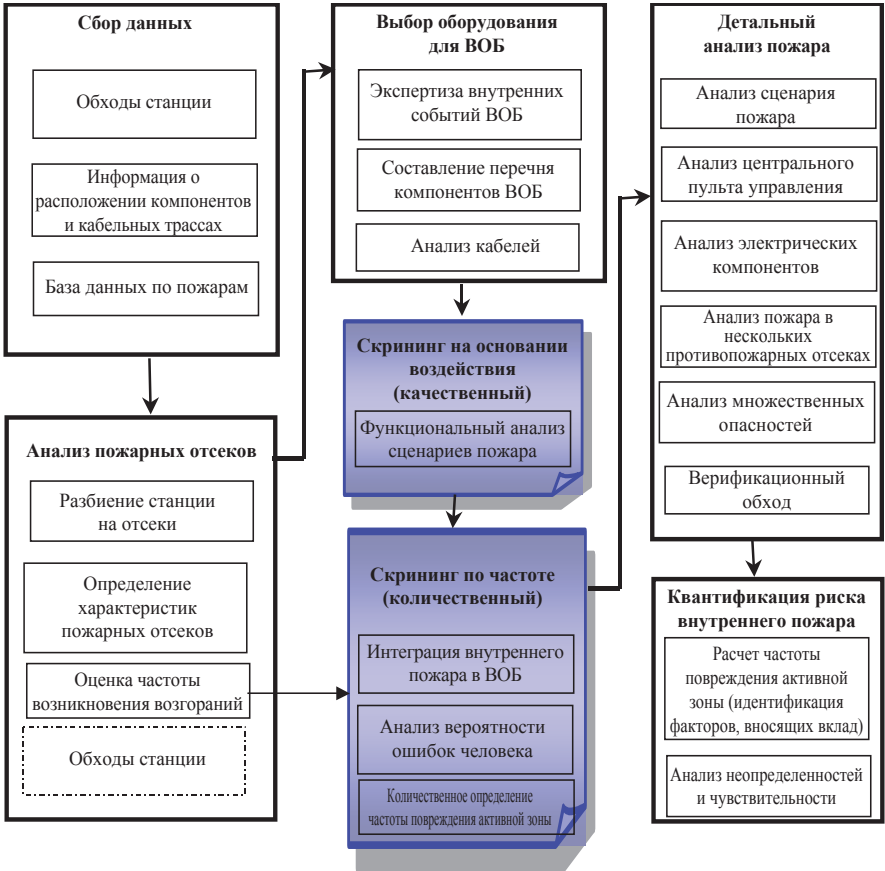


Рис. 3. Процесс разработки ВОБ уровня 1 для внутренних пожаров

пожара определяется в категориях источника возгорания и степени ущерба, нанесенного пожаром в пределах противопожарного отсека. В соответствии с уровнем детализации анализа в контексте ВОБ уровня 1 для внутренних пожаров, частота возникновения, связанная с конкретным сценарием пожара, зависит от частоты возгораний и вероятности успешной ликвидации пожара.

Сбор данных

7.19. Задача сбора и оценки данных в ВОБ уровня 1 для внутренних пожаров имеет целью подготовку необходимых данных. Основной задачей является сбор данных по конкретной станции, необходимых для моделирования пожара. Однако некоторые данные, используемые в ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий, следует подвергать переоценке с учетом условий, вызванных пожаром.

7.20. В данные по конкретной станции в контексте ВОБ уровня 1 для внутренних пожаров следует включать:

- a) кабельные трассы, в том числе кабельную канализацию, кабелепроводы, кабельные лотки и ограждения;
- b) физические характеристики противопожарных отсеков и их содержимого (см. пункт 7.22.);
- c) информацию о случаях возгорания;
- d) информацию о компонентах в конкретных противопожарных отсеках с указанием их потенциальной опасности как источника возгорания (т.е. об отказах компонентов, которые могут приводить к пожару, и временно присутствующих в отсеке огнеопасных веществах);
- e) оценки надежности системы обнаружения возгораний и средств пожаротушения;
- f) действия оператора в случае пожара и вероятности ошибок оператора;
- g) наличие противопожарной бригады и ее возможности; особенности системы пожаротушения (скорость срабатывания, противопожарные реагенты, способные повредить оборудование или сделать невозможным доступ операторов в противопожарный отсек);
- h) режимы отказов оборудования, связанные с пожарами, и критерии оценки нанесенного пожаром ущерба.

7.21. Учитывая объем и характер информации, собранной и предполагаемой к использованию в контексте ВОБ уровня 1 для внутренних пожаров, следует

изучить вопрос о создании базы данных в качестве вспомогательного средства.

Анализ противопожарных отсеков

7.22. Для целей ВОБ в отношении внутренних пожаров все здания и конструкции, включенные в анализ, следует разделить на отдельные противопожарные отсеки, которые рассматриваются индивидуально (см. пункт 7.17). В характеристики противопожарных отсеков следует включать, как минимум:

- a) физические границы (стены, двери, вентиляционные каналы, проходы и т.д.);
- b) средства противопожарной защиты;
- c) огнестойкость перегородок, окружающих отсек;
- d) компоненты и кабели, расположенные внутри противопожарного отсека;
- e) смежные противопожарные отсеки и их соединения;
- f) вентиляционные каналы (воздуховоды), которые могут соединять данный противопожарный отсек с несмежными отсеками;
- g) пожарную нагрузку (например, тип, величина, с защитой или без защиты, расположение, местное распространение, постоянная или временная);
- h) потенциальные источники возгорания (например, тип, количество, местоположение);
- i) процедуры контроля огнеопасных материалов;
- j) уровень присутствия персонала (т.е. возможность обнаружения возгорания персоналом); доступность (например, для пожарных).

7.23. Как при сборе данных, так и в процессе определения противопожарных отсеков, информацию, полученную из станционной документации, следует проверять во время обходов станции путем визуального осмотра, насколько возможно, каждого противопожарного отсека на территории всей станции. Данную проверку следует проводить таким образом, чтобы было обеспечено соответствие собранных данных текущему фактическому состоянию станции.

7.24. Важной частью ВОБ уровня 1 для внутренних пожаров является оценка частоты возникновения возгораний в противопожарных отсеках, которую следует выполнять либо до скрининга всех противопожарных отсеков, либо в начале процесса количественного скрининга наиболее

важных противопожарных отсеков, успешно прошедших процедуру качественного скрининга (см. пункт 7.41). Частоту возникновения возгораний, связанную с источниками возгорания, следует оценивать с использованием рекомендаций, приведенных в разделе 5, насколько это возможно с помощью данных по конкретной станции. Если данных по конкретной станции недостаточно, то параллельно с имеющимися данными для оценки частоты возникновения возгораний следует использовать обобщенные данные, скорректированные в части фактических источников возгорания (включая источники, возникающие в результате проведения пожароопасных работ) и количества постоянно и временно находящихся в противопожарном отсеке огнеопасных материалов.

ВОБ уровня 1 для внутренних пожаров – выбор оборудования

7.25. На основании изучения компонентов станции, рассматриваемых в ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий, составляется перечень оборудования, которое будет моделироваться при ВОБ уровня 1 для внутренних пожаров. В этот перечень следует включать оборудование, отказ которого вследствие пожара:

- a) может вызвать исходное событие;
- b) может повлиять на способность функций безопасности к смягчению действия исходного события (основные и вспомогательные системы);
- c) может повлиять на действия оператора после наступления исходного события, инициированного пожаром (взаимодействия персонала типа C);
- d) может приводить к ложным срабатываниям систем, которые могут вызывать другие опасные для станции эффекты, как при работе на мощности, так при останове станции.

Такие отказы могут возникать в результате перебоев подачи силового или управляющего электропитания, а также в результате термического разрушения элементов, ведущего к ложным срабатываниям либо получению ложной информации от станционных СКУ и систем аварийного оповещения. Глубину анализа ложных срабатываний оборудования следует адаптировать к сфере охвата ВОБ, причем особое внимание следует уделять оборудованию или режимам отказов, не рассмотренным при ВОБ уровня 1.

7.26. Следует осуществить идентификацию компонентов станции и всех связанных с ними элементов модели, важных при ВОБ уровня 1 для внутренних пожаров. Базисную основу скрининга и категоризации

режимов отказов компонентов в модели ВОБ для внутренних исходных событий следует систематически пересматривать с целью определения обоснованности допущений, сделанных в контексте вызванных пожаром отказов, причем в случае необходимости модель для внутренних исходных событий следует расширить.

7.27. Неотъемлемой частью данной экспертизы должна быть идентификация всех кабелей и электрических цепей, связанных с компонентами, указанными в пунктах 7.25 и 7.26, а также анализ кабельных трасс. Кроме того, следует рассмотреть возможность повреждения в результате пожара неэлектрических контуров, например, линий подачи воздуха для СКУ.

7.28. Для каждого противопожарного отсека следует составить перечень оборудования, связанного с ВОБ уровня 1. На более позднем этапе детального анализа будет необходимо более точно определить места расположения компонентов в противопожарном отсеке.

Скрининг по воздействию

7.29. Скрининг по воздействию следует применять для устранения малозначащих сценариев пожара на основе качественных («ориентированных на воздействие») критериев. Скрининг начинается с идентификации критичных противопожарных отсеков и зон, затем с использованием пессимистических допущений задаются потенциальные сценарии пожара в одном или нескольких отсеках. В ориентированных на воздействие критериях, используемых для скрининга отдельных сценариев пожара, следует учитывать характеристики рассматриваемых в сценарии противопожарных отсеков.

7.30. При выполнении скрининга по воздействию его следует основывать, по крайней мере, на следующих критериях или их комбинациях. Противопожарный отсек может быть исключен из рассмотрения на основании его незначительного потенциального влияния на безопасность станции, если:

- a) плотность пожарной нагрузки ниже заданного принятого порогового значения, ИЛИ:
- b) выполняются все нижеперечисленные условия:
 - i) в отсеке отсутствует оборудование, могущее стать причиной исходного события или требующее отключения вручную; И

- ii) в отсеке отсутствуют как системы обеспечения безопасности (т.е. системы, которые необходимы для безопасного останова станции), так и относящиеся к ним кабели или вспомогательные системы; И
- iii) потенциальная возможность распространения воздействия пожара на другие противопожарные отсеки, в которых находится связанное с безопасностью оборудование, весьма мала.

7.31. Для целей скрининга все компоненты и кабели, подвергшиеся воздействию огня, следует считать вышедшими из строя, т.е. обычно принимается пессимистическое допущение неэффективного действия или несрабатывания систем противопожарной сигнализации и пожаротушения. Прочие защитные меры, такие как огнестойкие экраны, защитные покрытия или кожухи, обычно не принимаются во внимание.

7.32. При скрининге по воздействию следует также учитывать сценарии пожара в нескольких отсеках, разработанные с учетом пессимистических допущений в части распространения пожара. Для каждого противопожарного отсека определяются комплексы отсеков, на которые может распространиться пожар, путем добавления к рассматриваемому отсеку всех смежных отсеков (во всех направлениях) и всех отсеков, связанным с рассматриваемым вентиляционными каналами, но не обязательно смежных с ним. Затем следует провести анализ всех возможных комбинаций противопожарных отсеков с учетом возможности распространения пожара на смежные (или соединенные вентиляционными каналами) противопожарные отсеки. С целью ограничения числа требующих рассмотрения комбинаций могут быть сделаны общие допущения в отношении надежности и эффективности элементов противопожарных перегородок (например, одновременное независимое разрушение перегородок можно считать весьма маловероятным).

7.33. При анализе следует рассмотреть вероятность распространения пожара, возникшего за пределами станционных сооружений, на противопожарные отсеки внутри сооружений (например, вероятность распространения пожара пристанционного трансформаторного узла на турбинный зал).

7.34. В случае площадки с несколькими энергоблоками при анализе следует рассмотреть потенциальную возможность распространения пожара с одного энергоблока на противопожарные отсеки другого. Кроме того, следует учесть возможность возникновения пожаров в зонах совместного

использования (например, общих (для нескольких энергоблоков) аварийных дизель-генераторов, электрораспределительных подстанций).

Скрининг по вкладу в частоту повреждения активной зоны

Интеграция внутренних пожаров в ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий

7.35. Скрининг противопожарных отсеков по их вкладу в частоту повреждения активной зоны, осуществляемый на основании количественных критериев, направлен на дальнейшее исключение из анализа противопожарных отсеков или их комбинаций, оставшихся после первого этапа качественного скрининга по воздействию.

7.36. На данном этапе вклад пожара в частоту повреждения активной зоны следует рассчитывать с использованием вероятностной модели, разработанной на основе существующей модели ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий. Такая модель, как правило, используется для расчета условной вероятности повреждения активной зоны в условиях конкретных сценариев пожара. На данном этапе для оценки частот возникновения сценариев пожара и связанной с этим условной неготовности требуемых функций безопасности вследствие пожара следует делать пессимистические допущения в отношении развития и распространения пожара, воздействия пожара на оборудование и связанных с этим действий оператора (т.е. действий по ослаблению воздействия пожара); все оборудование внутри собственно противопожарного отсека пессимистически считается находящимся в состоянии неготовности, а средства противопожарной сигнализации и пожаротушения не учитываются.

7.37. При этих допущениях для каждого оставшегося противопожарного отсека следует выполнить изменение модели ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий, с тем чтобы сопоставить воздействия пожара в отсеке с соответствующими исходными событиями и видами отказов оборудования. Это позволит рассчитать для каждого противопожарного отсека условную вероятность повреждения активной зоны, на основе которой по формуле, приведенной в пункте. 7.5, можно вычислить общий вклад пожара в частоту повреждения активной зоны.

Анализ вероятности ошибки оператора

7.38. При определении вклада пожара в частоту повреждения активной зоны или расчете условной вероятности повреждения активной зоны следует рассмотреть вероятности ошибки оператора, отраженные в ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий, с учетом отклонений от аварийных эксплуатационных процедур и специальных процедур смягчения последствий пожара. Следует обосновывать и документировать любые отклонения от подходов, используемых при анализе надежности оператора в ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий (см. раздел 5).

7.39. При использовании представленного в разделе 5 подхода к анализу надежности оператора, следует анализировать факторы, влияющие на работоспособность оператора, с учетом конкретных последствий пожара – таких, как дополнительный стресс, потенциальная возможность поступления противоречивой информации, задымление, отключение освещения и трудности входа в зону пожара или передвижения через нее.

7.40. Если восстановительные действия оператора предусмотрены в модели ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий, то следует проверить возможность выполнения таких действий. Например, выполнение определенных восстановительных действий в пострадавшем от пожара помещении может быть затруднено. Следует также проверить возможное побочное воздействие пожара на качество воздуха в помещении блочного цита управления и на вероятность ошибки оператора.

Количественная оценка вклада пожара в частоту повреждения активной зоны для скрининга

7.41. Для проведения количественного скрининга следует оценить вклад пожара в частоту повреждения активной зоны для каждого противопожарного отсека с учетом соответствующей частоты возникновения сценария пожара в соответствии с общей формулой, приведенной в пункте 7.5.

7.42. Количественный скрининг должен основываться на пессимистической оценке условной вероятности повреждения активной зоны или на абсолютном вкладе пожара в частоту повреждения активной зоны. Для количественного скрининга противопожарных отсеков могут быть определены два критерия:

- 1) совокупный вклад пожара в частоту повреждения активной зоны для всех анализируемых противопожарных отсеков должен быть ниже установленного порогового значения. Данное пороговое значение может быть определено как конкретное абсолютное значение, либо может быть представлено в относительном выражении (например, влияние внутренних исходных событий на частоту повреждения активной зоны);
- 2) значение критерия скрининга отдельных противопожарных отсеков следует задавать достаточно высоким, с тем чтобы обеспечить определенный скрининг, но достаточно низким для сохранения всех сценариев пожара значимых с точки зрения риска.

7.43. При скрининге по вкладу пожара в частоту повреждения активной зоны следует учитывать частоту повреждения при пожаре в нескольких отсеках как произведение частоты возникновения возгораний в одном противопожарном отсеке и условной вероятности распространения пожара на другие отсеки.

7.44. Результатом всего процесса скрининга (по воздействию и по частоте) будет перечень сценариев пожара, связанных с противопожарными отсеками, способных вносить существенные вклады в риск и требующих дальнейшего рассмотрения. С целью последующего анализа для каждого сценария пожара, присутствующего в данном перечне, следует разработать с целью дальнейшего анализа количественную модель ВОБ уровня 1 для внутренних пожаров.

Детальный анализ пожара

Анализ сценариев пожара

7.45. Детальный анализ пожара должен быть направлен на снижение уровня консерватизма в уже выявленных в процессе скрининга сценариях пожара. Следует принимать во внимание эффективность противопожарных перегородок внутри отсека и других средств защиты от пожара, расположение оборудования, связанного с обеспечением безопасности, и оборудования, связанного с пожаром, в противопожарном отсеке, а также другие аспекты, такие как усиление и распространение пожара. Следует принимать во внимание и оценивать все воздействия пожара, в том числе пламя, шлейф, распространение пламени под крышей, тепловое излучение горячих газов, мощное искрообразование и дым. Как правило, при проведении ВОБ уровня 1

для внутреннего пожара следует проводить специальные обходы с целью сбора дополнительной информации для проверки детального анализа.

7.46. Следует применять более реалистичные модели для оценки действий оператора по снижению вероятности повреждения оборудования, усиления и распространения пожара, воздействия пожара на оборудование и кабели и т. д.

7.47. Следует оценивать воздействие пожара и возможного распространения дыма и токсичных газов на деятельность оператора. Следует также отметить, что избыточное давление в результате пожара может препятствовать открытию дверей, необходимых для доступа в места для эвакуации.

7.48. Следует обосновывать и документально оформлять выбор конкретных инструментальных средств моделирования для анализа развития и распространения пожара (например, кодов моделирования пожара).

7.49. В сценариях пожара следует описывать развитие во времени пожара, начавшегося в выбранном отсеке, а также любые последующие повреждения компонентов и кабелей. Сценарий пожара должен быть представлен в модели ВОБ уровня 1 для внутреннего пожара, например, «деревьями событий» распространения пожара (см. пример в Приложении II), где моделируются все важные особенности, влияющие на развитие пожара (конструкция и качество противопожарных барьеров, развитие пожара и модель распространения, критерий повреждения оборудования, подвергающегося риску, в том числе кабелей и средств противопожарной защиты и пожаротушения). Для определения подобных «деревьев событий» распространения пожара следует применять рекомендации, содержащиеся в разделе 5.

7.50. Для подлежащих анализу сценариев пожара следует оценивать надежность оператора при выполнении действий вручную и надежность элементов систем обнаружения и тушения с использованием той же методологии, что представлена в разделе 5 для ВОБ в отношении внутренних исходных событий.

7.51. В сценариях пожара следует учитывать пути, которые могут способствовать распространению пожара (например, вентиляционные или кабельные желоба, разрушенные противопожарные перегородки).

7.52. Для противопожарных отсеков, рассматриваемых в подробном анализе пожара, данные о частоте возникновения сценария пожара следует дополнять соответствующими сведениями, характерными для противопожарного

отсека, такими как непостоянные источники воспламенения, степень воспламеняемости, возможное наличие пожарной нагрузки и т.д.

7.53. Задаваемую эффективность и временные параметры реагирования автоматических и управляемых вручную систем обнаружения и тушения пожара следует обосновывать для конкретных сценариев пожара наряду с задаваемой вероятностью того, что пожар не будет ликвидирован.

Анализ пожара в блочном щите управления

7.54. В модели ВОБ уровня 1 для внутреннего пожара в *блочном щите управления* следует учитывать специфические особенности, связанные с этим участком, такие, как широкое воздействие пожара в блочном щите управления на все системы безопасности, возможность ложного срабатывания систем и влияние пожара в блочном щите управления на действия оператора. Последнее должно включать:

- a) воздействие пожара и дыма на эксплуатационную готовность контрольно-измерительной аппаратуры и связанного с ней оборудования;
- b) эффективность средств обнаружения и тушения пожара, включая потенциальное отрицательное воздействие затопления;
- c) использование альтернативного пункта для безопасного останова с учетом аспектов доступности и других возможных ограничений;
- d) последствия распространения дыма и токсичных газов.

Кроме того, следует принимать во внимание распространение огня внутри корпусов устройств, в том числе наличие физических барьеров, а также разнесение в пространстве резервных элементов.

Анализ пожара в помещении электрического щита управления

7.55. Помещения электрического щита управления, помещения распределительных устройств, помещения для разводки кабелей и другие помещения, содержащие аппаратуру управления, являются естественными центрами сосредоточения оборудования и электропроводки. Находящиеся в них электрооборудование и кабели могут быть связаны с рядом систем безопасности. Поэтому потенциальное воздействие пожара на резервное оборудование для безопасного останова и на другое сопутствующее оборудование, связанное с ВОБ уровня 1, вероятно, будет большим, чем воздействие пожара в других местах станции, и это следует учитывать.

7.56. Существует также высокая вероятность одного или нескольких ложных срабатываний электрических компонентов по причине коротких замыканий в этих местах, вызванных пожаром. При анализе ложных срабатываний электрических компонентов следует определять отказы отдельных электрических цепей, вызванные пожаром, и оценивать соответствующие условные вероятности.

Анализ пожаров в помещениях с несколькими отсеками

7.57. Анализ пожаров в помещениях с несколькими отсеками имеет целью выявление возможных сценариев значимых с точки зрения риска пожаров в нескольких противопожарных отсеках. Следует предполагать, что пожар может распространяться из одного отсека в другой через общие перегородки или через вентиляционные каналы, соединяющие отсеки. По сравнению с анализом, проведенным в процессе скрининга, подробный анализ пожара в помещении с несколькими отсеками должен быть основан на модели развития пожара, модели анализа распространения пожара и модели пожаротушения.

7.58. Что касается отдельных противопожарных отсеков, то при детальном анализе пожара в помещениях с несколькими отсеками следует учитывать глубину распространения пожара, распространение продуктов горения и/или теплопередачу на смежные (или соединенные) противопожарные отсеки.

Анализ нескольких опасностей

7.59. При ВОБ уровня 1 для внутреннего пожара следует определять и рассматривать возможность возникновения прочих последующих внутренних опасностей (например, затопления, вызванного срабатыванием системы пожаротушения, которая выпускает большое количество воды, взрыва опасных веществ в результате пожара, пожара, вызванного взрывом).

7.60. Если они не рассмотрены в ВОБ уровня 1 для внешних опасностей (например, сейсмичности, молний, внешних пожаров, авиакатастроф), при качественном анализе особое внимание следует уделять внутренним пожарам, вызванным другими видами опасных воздействий: противопожарным отсекам, где совокупное воздействие других опасностей и пожара может быть важным для безопасности, источникам возгорания, активированным опасными воздействиями, ложному срабатыванию или снижению эффективности функционирования систем пожаротушения, трудностям выполнения ручных действий при тушении пожара и т.д. (см. рекомендации по ВОБ уровня 1 для внешних опасностей, представленные в разделе 8).

7.61. В качестве минимума следует принимать во внимание следующие воздействия внутреннего пожара, вызванного другими опасностями, на факторы, оказывающие влияние на работоспособность операторов:

- a) доступность важных отсеков после начала пожара;
- b) повышенный уровень стресса;
- c) отказы индикации или ложная индикация;
- d) другие воздействия пожара на поведение оператора.

Квантификация риска внутреннего пожара

7.62. В полную модель ВОБ уровня 1 следует включать конкретные модели, разработанные для детального анализа ВОБ уровня 1 для внутреннего пожара (например, модель пожара в *блочном щите управления* или модель для оценки воздействия одного или нескольких ложных срабатываний компонентов, вызванных пожаром).

7.63. Следует выполнить окончательную квантификацию вклада внутреннего пожара в частоту повреждения активной зоны для противопожарных отсеков, оставшихся после скрининга, с учетом результатов детального анализа. Результаты и модель, используемые для количественного скрининга противопожарных отсеков по частоте, следует включать в ВОБ уровня 1 для внутреннего пожара. Результаты ВОБ уровня 1 для внутреннего пожара следует интерпретировать путем определения факторов, вносящих вклад в частоту повреждения активной зоны (например, противопожарные отсеки, сценарии пожара, действия оператора). Предположения, касающиеся скрининга, следует рассматривать на этом заключительном этапе с целью рассмотрения необходимости добавления к подробной модели факторов, вносящих вклад в зоны, которые были отсеяны.

7.64. При квантификации модели ВОБ уровня 1 для внутреннего пожара, анализе неопределенностей и анализе чувствительности следует руководствоваться рекомендациями, представленными в разделе 5. Анализ неопределенностей следует выполнять с целью определения и оценки источников неопределенности. С целью определения элементов ВОБ уровня 1 для внутреннего пожара, значимых с точки зрения риска, следует провести исследования чувствительности и анализ значимости. Исследования чувствительности следует проводить для важных допущений. Следует определять относительную важность различных вносящих вклад факторов для рассчитанных результатов.

Документация по ВОБ уровня 1 для внутреннего пожара

7.65. В данном пункте представлены рекомендации по выполнению Требования 20 относительно документации по ВОБ уровня 1 для внутреннего пожара [3]. ВОБ уровня 1 для внутреннего пожара следует документально оформлять таким образом, чтобы облегчить рассмотрение, применение и обновление ВОБ уровня 1. В частности, в документацию следует включать указанную ниже информацию:

- a) описание особенностей противопожарных мероприятий на станции, включая особенности пассивных и активных мер по уменьшению воздействий на станцию, а также разбиение станции на противопожарные отсеки;
- b) описание конкретных методов и данных, использованных для оценки пожарной опасности;
- c) конкретные изменения, внесенные в модель ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий, предназначенные для учета последствий внутреннего пожара;
- d) определение характеристик противопожарных отсеков;
- e) обоснование отсева конкретных противопожарных отсеков из анализа;
- f) результаты конкретного анализа для подробных сценариев пожара, блочного щита управления, электрического щита управления, пожара в нескольких отсеках, нескольких опасностей и т. д.;
- g) окончательные результаты ВОБ уровня 1 для внутреннего пожара в терминах частоты повреждения активной зоны, а также некоторые промежуточные результаты;
- h) доклад об обходе станции в поддержку анализа пожара.

АНАЛИЗ ВНУТРЕННЕГО ЗАТОПЛЕНИЯ

Общие сведения

7.66. ВОБ уровня 1 для внутреннего затопления представляет собой вероятностный анализ событий, связанных с выбросом жидкостей (обычно воды), происходящим внутри строений станции, и потенциальным воздействием такого выброса на безопасность. Процесс разработки ВОБ уровня 1 для внутреннего затопления обычно включает задачи, перечисленные на рис. 4 и представленные в пунктах 7.67-7.92. При ВОБ уровня 1 для внутреннего затопления в режимах низкой мощности и останова следует рассматривать те же аспекты, что перечислены в пункте 7.15.



РИС. 4. Процесс разработки ВОБ уровня 1 для внутреннего затопления.

Сбор данных и оценка возможности внутреннего затопления

7.67. При эксплуатации атомных электростанций следует проводить обходы станции, конкретно ориентированные на оценку возможности внутреннего затопления и с целью проверки точности информации, полученной из чертежей и других источников информации о станции, а также с целью получения необходимой информации о пространственных взаимодействиях для анализа возможных повреждений от каждого потенциального источника внутреннего затопления.

7.68. Следует выявлять возможные случаи внутреннего затопления и определять их характеристики (общие соображения, касающиеся вопросов затопления при проектировании атомных электростанций, см. в [10]). При выполнении данной задачи следует уделять внимание:

- a) возможным источникам затопления: трубам, внутренним цистернам, резервуарам, клапанам, теплообменникам, соединениям с открытыми источниками (например, морем, озером, рекой), многоэлементным совместным системам или конструкциям и т. д.;
- b) возможным механизмам затопления: обрывам, утечкам, разрывам, ложным или заданным срабатываниям системы распыления (например,

системы орошения *защитной оболочки* или системы пожаротушения) или ошибкам оператора во время эксплуатации или выполнения работ, связанных с техническим обслуживанием (например, неправильному положению или непреднамеренному открытию клапана);

- с) характеристикам затопления: объему (в зависимости от того, является ли источник затопления закрытой или открытой системой), расходу, температуре и давлению, наличию или возможности парообразования;
- д) сигнализации о затоплении, системам обнаружения утечек, емкости дренажных систем и защите компонентов от затопления (такой как сигналы аварийного отключения оборудования);
- е) критической высоте затопления компонентов, важных для ВОБ, и размерам помещений в зонах затопления.

7.69. При выявлении потенциальных случаев затопления особое внимание следует уделять условиям останова станции, поскольку в таких ситуациях конфигурации водных потоков часто меняются вращую.

7.70. Следует определять зоны станции, которые могут подвергнуться внутреннему затоплению, а также возможные пути распространения воды. При этом следует уделять внимание аспектам многоблочности и учитывать потенциальную возможность разрушения накопившейся водой барьеров для защиты от затопления.

7.71. Станцию следует разделить на физически раздельные «зоны затопления», когда одна зона затопления рассматривается как в целом независимая от других зон с точки зрения возможных последствий внутреннего затопления и возможности распространения затопления.

7.72. Частоту случаев внутреннего затопления следует оценивать в соответствии с рекомендациями раздела 5. Насколько это возможно, следует использовать данные конкретной станции. Если таких данных недостаточно, можно использовать типовые данные или экспертные оценки с соответствующими обоснованиями.

7.73. Основными данными для оценки частоты случаев внутреннего затопления являются оценки интенсивностей отказов и частот разрывов труб и связанные с ними неопределенности. Следует проводить отбор данных для трубопроводных систем, которые являющихся существенными источниками внутреннего затопления. Кроме того, следует оценивать частоту и тяжесть случаев затоплений по причине ошибки оператора с учетом процедур технического обслуживания и опыта эксплуатации конкретной станции.

Определение сценариев затопления

7.74. Для каждого случая внутреннего затопления следует определить конструкции, системы и элементы, которые могут подвергаться воздействию при затоплении. В зависимости от сферы охвата анализа, могут оказаться актуальными следующие воздействия затоплений на оборудование: погружение, температура, давление, брызги, пар, пульсация трубопроводов или ударная сила струи как следствие разрыва в трубопроводе высокого давления или заклинивания клапана. Следует обеспечивать насколько возможно большую полноту анализа.

7.75. При рассмотрении компонентов, которые могут подвергаться воздействию при внутреннем затоплении, следует учитывать высотные отметки, ограждения, двери и дренажи. Следует также учитывать возможность забивки дренажа.

7.76. Следует оценивать возможность распространения паводковых вод из одной зоны в другую, включая учет повреждения преград для защиты от затоплений.

7.77. Следует учитывать все возможные пути распространения паводковых вод, например, дренажные системы оборудования, а также возможность того, что закрытые при нормальных условиях двери или люки остаются открытыми.

7.78. Следует установить местоположение, в том числе высотные отметки, стоек, соединительных коробок кабелей компонентов, связанных с безопасностью, а также другого чувствительного оборудования. Таким образом может быть определена уязвимость компонентов по отношению к затоплению некоторых помещений.

7.79. Следует произвести оценку потенциального воздействия затопления на работу станции. В анализ возможного влияния затопления на работу станции следует включать ложные срабатывания компонентов или систем по причине воздействия затопления, которые могут инициировать определенные аварийные последовательности.

Скрининг по воздействию

7.80. Следует провести скрининг сценариев затопления по воздействию. Критические сценарии затопления могут быть отобраны путем исключения отсеков станции на основе незначительного потенциального воздействия на

безопасность станции. Исходя из следующих качественных критериев, отсек станции может быть исключен из анализа, если:

- a) выполняются оба следующих условия:
 - i) отсек не содержит оборудования, которое может вызвать исходное событие; И
 - ii) ни системы, необходимые для безопасного останова станции, ни их вспомогательные системы не расположены в отсеке, в котором возникло затопление, или в зоне распространения затопления; ИЛИ
- b) отсек не содержит никаких источников затопления, включая утечки, поступающие из других отсеков и достаточные для того, чтобы вызвать отказ оборудования.

Скрининг по вкладу в частоту повреждения активной зоны

Интеграция внутреннего затопления в ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий

7.81. Следует провести дополнительный скрининг случаев внутреннего затопления по их вкладу в частоту повреждения активной зоны. По этой причине ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий следует изменить таким образом, чтобы учитывались явления затопления (как модели системы, так и действия оператора).

7.82. В ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий следует выполнить полное рассмотрение анализа надежности оператора. При применении подхода к представленному в разделе 5 анализу надежности оператора следует проанализировать факторы, определяющие работоспособность с учетом специфики причины затопления. Следует выполнить повторную оценку и корректировку вероятностей ошибки оператора с учетом конкретных процедур смягчения последствий затопления. Как минимум, следует учитывать указанные ниже виды воздействий, вызванных затоплением, на факторы, определяющие работоспособность операторов:

- a) доступность представляющих интерес отсеков после затопления и/или воздействие неблагоприятных условий окружающей среды, вызванных затоплением или присутствием пара или брызг;
- b) возможность повышения уровня стресса;
- c) отказы индикации или ложная индикация;
- d) прочие воздействия затопления на поведение оператора.

Квантификация вклада затопления в частоту повреждения активной зоны для целей скрининга

7.83. При решении задачи количественного скрининга следует использовать консервативный подход, при котором предполагается, что все компоненты в отсеке, на которые затопление оказало воздействие, вышли из строя. Если это предположение не приводит к значительному вкладу в частоту повреждения активной зоны (рассчитанному по формуле, приведенной в пункте 7.5), то случай внутреннего затопления может быть исключен.

7.84. При ВОБ уровня 1 для внутреннего затопления следует определять количественные критерии для скрининга в соответствии с вкладом в частоту повреждения активной зоны. Примерами таких критериев могут быть следующие:

- a) совокупный вклад всех исключенных сценариев затопления в частоту повреждения зоны ядерного реактора не должен превышать установленного порогового значения;
- b) критерий для исключения одного сценария затопления следует устанавливать достаточно высоким, с тем чтобы обеспечивался определенный скрининг, но в то же время достаточно низким, чтобы сохранить все сценарии затопления, значимые с точки зрения риска.

Детальный анализ затопления

Анализ сценариев затопления

7.85. При количественном детальном анализе затопления следует рассматривать следующие вопросы:

- a) расчеты временных параметров (скорости изменения уровней воды при затоплении) для восстановления;
- b) анализ надежности оператора при выполнении им дополнительных действий, необходимых для уменьшения последствий затопления;
- c) разработка моделей дерева событий или дерева отказов для каждого сценария затопления (на основе ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий (см. раздел 5) или, в надлежащих случаях, новых моделей);
- d) квантификация соответствующего дерева событий или дерева отказов в случае отказа оборудования вследствие затопления и анализ результатов, включая исследования чувствительности и анализ неопределенностей.

7.86. Все потенциально вносящие вклад исходные события следует проанализировать с точки зрения способа их обнаружения и контроля. Способ обнаружения и контроля следует затем учитывать при оценке вероятностей невозможности обнаружения и изоляции.

7.87. В сценариях затопления следует описывать развитие во времени затопления, возникшего в выбранной зоне станции, и последующие отказы компонентов (см. пункт 7.74). Сценарий затопления может быть представлен в виде деревьев событий при затоплении, в которых смоделированы все важные особенности, влияющие на развитие затопления (конструкция преград для защиты от затоплений, обнаружение затопления и изоляция источников затопления), а также вероятности отказов компонентов. Как правило, при выполнении ВОБ уровня 1 для внутреннего затопления следует проводить специализированные обходы с целью сбора дополнительной информации для проверки подробного анализа затопления.

7.88. Дополнительные действия оператора, которые могут быть необходимы для уменьшения последствий затопления, следует определять и оценивать с точки зрения вероятности положительного или отрицательного результата действий по обнаружению и контролю затопления. К таким действиям относятся, например, изоляция и последующее восстановление источников электропитания. В подходе к анализу надежности оператора следует учитывать возможную потерю контрольно-измерительного оборудования и ложные показания, которые могут быть вызваны затоплением.

Анализ нескольких опасностей

7.89. При ВОБ уровня 1 для внутреннего затопления следует рассматривать затопление и повреждение конструкций, систем или элементов вследствие высвобождения большой энергии при разрывах трубопроводов, если оно не было включено в качестве части в модель ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий.

7.90. Затопление, вызванное срабатыванием системы пожаротушения, выбрасывающей большое количество воды, следует рассматривать в контексте ВОБ уровня 1 для внутренних пожаров (см. пункт 7.59).

Квантификация риска внутреннего затопления

7.91. Результаты и модель, используемые для количественного скрининга сценариев затопления по частоте, и конкретные модели, разработанные для

детального анализа ВОБ уровня 1 для внутреннего затопления, следует включать в полную модель ВОБ уровня 1. Затем следует выполнить окончательную квантификацию вклада затопления в частоту повреждения активной зоны, включая определение основных факторов, вносящих вклад (например, источников затопления, сценариев затопления) и рассмотрение допущений в отношении скрининга и анализа неопределенностей и чувствительности. Следует соблюдать рекомендации, содержащиеся в разделе 5.

Документация по ВОБ уровня 1 для внутреннего затопления

7.92. В настоящем пункте представлены рекомендации по выполнению требования 20 относительно документации по ВОБ уровня 1 для внутреннего затопления [3]. ВОБ уровня 1 для внутреннего затопления следует документально оформлять таким образом, чтобы облегчить рассмотрение, применение и обновление ВОБ уровня 1. В частности, в документацию следует включать указанную ниже информацию:

- a) описание конкретных методов и данных, используемых для оценки опасности внутреннего затопления;
- b) конкретные изменения, внесенные в модель ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий с целью учета последствий внутреннего затопления;
- c) обоснование скрининга на основе анализа конкретных сценариев затопления;
- d) результаты детального анализа сценариев затопления, включая описание сценариев и значительные допущения, сделанные в ходе анализа;
- e) окончательные результаты ВОБ уровня 1 для внутреннего затопления с указанием частоты повреждения активной зоны, качественного понимания и рекомендаций;
- f) доклад об обходе станции в поддержку анализа затопления.

ДРУГИЕ ВНУТРЕННИЕ ОПАСНОСТИ

Анализ падения тяжелых грузов

7.93. При ВОБ основное внимание обычно уделяется отказу охлаждения активной зоны внутри корпуса реактора или при хранении отработавшего ядерного топлива в бассейне для его выдержки. Однако может иметь место другое, более прямое повреждение, например, при падении тяжелых грузов на корпус реактора, бассейн выдержки или системы, необходимые для выполнения критически важных функций безопасности. Потенциальное падение тяжелых

грузов (например, защитного купола СЗО, крышки корпуса реактора, контейнера для отработавшего топлива, бетонных блоков биологической защиты) следует анализировать с точки зрения возможного нанесения данным падением повреждения конструкциям, системам или элементам, необходимым для выполнения критических функций безопасности, или с точки зрения возможности непосредственного механического повреждения тепловыделяющих сборок.

7.94. Если путь, по которому перевозится груз, находится не выше уровня топлива и не выше участков, содержащих критическое оборудование, то возможен отсев отдельных «инициаторов» падения тяжелого груза.

7.95. При вероятностном анализе следует рассматривать те места, помимо площадки для перегрузки топлива реактора, где производятся манипуляции с тяжелыми грузами. Например, на некоторых станциях в турбинном отделении имеются открытые зоны, где находятся системы расхолаживания реактора и которые уязвимы при падении тяжелых грузов (например, испытательные устройства могут упасть и разрушить трубы, соединенные с корпусом реактора).

7.96. Следует рассчитывать вклад падений тяжелых грузов в частоту повреждения активной зоны, за исключением ситуации, когда данный случай может быть исключен на вероятностной основе.

7.97. ВОБ уровня 1 для падений тяжелых грузов следует согласовывать с моделью ответной реакции станции, разработанной при ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий в режимах низкой мощности и останова (см. пункт 9.11).

7.98. Следует учитывать все стационарное грузоподъемное оборудование на станции. Следует определять и подробно исследовать зоны, где упавший груз может отрицательно повлиять на компоненты, связанные с обеспечением безопасности. Для этой цели следует выполнить обход станции.

7.99. Погрузочно-разгрузочные работы следует идентифицировать и анализировать на основе рабочих процедур во время останова.

7.100. Частоты исходных событий следует рассчитывать в соответствии с рекомендациями в разделах 5 и 9. При расчетах следует учитывать отказы механического оборудования, ошибки оператора и возможную неработоспособность функций автоматической защиты. Внешние явления,

такие как землетрясения или воздействия воздушных судов, если они не рассмотрены при ВОБ уровня 1 для внешних опасностей, следует рассматривать при анализе исходных событий.

7.101. Для каждого случая падения тяжелого груза следует консервативно предполагать падение максимального груза или, при необходимости, следует проанализировать характер упавшего объекта и причины его падения. Следует охарактеризовать возможное направление, размер, форму и энергию летящего предмета или летящих предметов, образовавшихся при падении, и следует оценить воздействия на конструкции здания и на станцию.

7.102. Если предусмотрена ВОБ уровня 2, то следует рассмотреть каждый случай падения тяжелого груза с целью определения потенциальных радиологических последствий и вклада в частоту (если это имеет место) состояния повреждения станции.

Анализ летящих обломков турбины

7.103. Следует рассчитать вклад разрушения турбины (например, отказа ротора турбины) в частоту повреждения активной зоны, если данное событие не может быть исключено на вероятностной основе. Воздействие пожара по причине воспламенения водорода или горения нефтепродуктов на компонентах, актуальных с точки зрения ВОБ, следует рассмотреть в контексте анализа воздействия летящих обломков турбины.

7.104. В анализ разрушения турбины следует включать значения для нормальной и превышенной скорости.

7.105. Следует определить распределение летящих обломков после разрушения турбины и, следовательно, оценить вероятность воздействия таких обломков на здания, учитывая ориентацию и местоположение турбины.

7.106. Следует определить вероятность результирующих поломок связанного с обеспечением безопасности оборудования в зданиях, принимая во внимание долю обломков с кинетической энергией, достаточной для того, чтобы проникнуть в здания.

7.107. На первом этапе следует рассматривать только оборудование, учитываемое в аварийных последовательностях, определенных ранее при ВОБ уровня 1.

7.108. Значения вероятностей отказов в результате воздействия летящих предметов, наряду с вероятностями случайных отказов сохранившегося оборудования, связанного с обеспечением безопасности, и частотой разрушения турбины, следует использовать для расчета частот неисправностей, приводящих к сопутствующим повреждениям активной зоны или крупным выбросам.

7.109. Следует провести обход станции с целью подтверждения допущений при анализе защиты конструкций, зданий и выбранного оборудования от летящих обломков турбины.

Анализ внутреннего взрыва

7.110. Общий процесс проведения ВОБ уровня 1 для внутренних опасностей следует адаптировать применительно к ВОБ уровня 1 для внутреннего взрыва с учетом того, что атомные электростанции изначально спроектированы таким образом, чтобы свести к минимуму вероятность и последствия внутренних взрывов. Анализ внутренних взрывов, вызванных пожаром или вызывающих внутренние пожары, следует рассматривать в ВОБ уровня 1 для внутреннего пожара.

7.111. Конструкция здания атомной электростанции в принципе предусматривает предотвращение и уменьшение последствий взрывов (см. [9]). Для этой цели используется систематический анализ взрывов с целью определения характеристик их потенциальных источников (характера и количества взрывчатых веществ, локализации), потенциального воздействия мгновенного сгорания или взрывов на станцию (избыточного давления, ударной нагрузки или нагрузки лобового сопротивления, пожара или тепла) и особенностей их предотвращения. ВОБ уровня 1 для внутреннего взрыва должна опираться главным образом на информацию и данные, полученные в ходе этих анализов, позволяя провести качественный отсев сценариев взрыва.

7.112. Для определения потенциальных источников взрыва и в целях проверки следует провести обход станции.

7.113. Для остальных сценариев взрыва частоту случаев взрыва следует оценивать с использованием рекомендаций, содержащихся в разделе 5. При квантификации следует учитывать количество взрывчатых веществ, находящихся на станции, деятельность человека, которая может происходить на месте взрыва, а также эффективность средств предотвращения взрывов

(оборудования для обнаружения водорода, детекторов утечек взрывоопасных жидкостей или газа, систем вентиляции и т.д.).

7.114. Следует рассчитать вклад внутреннего взрыва в частоту повреждения активной зоны, если это событие не может быть исключено на вероятностной основе.

8. ОСОБЕННОСТИ ВОБ УРОВНЯ 1 ДЛЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ

ВВЕДЕНИЕ

8.1. В данном разделе представлены рекомендации по выполнению Требований 6-13 [3] относительно ВОБ уровня 1 для внешних опасностей. Конкретные рекомендации приведены только для некоторых внешних опасностей, которые не могут быть исключены во многих случаях:

- a) сейсмических опасностей;
- b) сильных ветров;
- c) внешних наводнений;
- d) антропогенных опасностей.

ОБЩИЕ АСПЕКТЫ ОГРАНИЧИВАЮЩЕГО АНАЛИЗА ДЛЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ

8.2. Ограничивающий анализ проводится с целью сокращения перечня внешних опасностей, подвергнутых детальному анализу, тем самым сосредоточивая внимание на наиболее значимых сценариях аварий. Ограничивающий анализ следует выполнять таким образом, чтобы он предоставлял гарантию того, что повреждение активной зоны, связанное с определенной внешней опасностью, незначительно по сравнению с другими источниками опасности.

8.3. При ограничивающем анализе следует рассматривать все потенциальные воздействия каждой не исключенной внешней опасности на атомную электростанцию²⁵.

8.4. Совокупный вклад внешних опасностей, подлежащих ограничивающему анализу, следует рассчитывать и сохранять в окончательных результатах ВОБ уровня 1.

8.5. Если все воздействия опасности на станцию не могут быть ограничены одним сценарием, что, как правило, нетипично, то следует разработать набор сценариев для конкретной опасности.

8.6. При ограничивающем анализе также следует рассматривать комбинации внешних опасностей.

8.7. Ограничивающие оценки должны быть основаны на моделях и данных, которые либо являются реалистичными, либо бесспорно установлены ранее. Такие модели и данные включают:

- a) оценку частоты возникновения опасностей (т.е. оценки частоты превышения определенных интенсивностей);
- b) анализ воздействия опасностей на станцию (т.е. нагрузок, связанных с опасностью);
- c) анализ реакции станции (т.е. слабых мест);
- d) модели и данные ВОБ уровня 1 и т.д. для станции.

Сейсмические опасности

8.8. Поскольку сейсмические опасности, по-видимому, вносят важный вклад в частоту повреждения активной зоны во многих ВОБ уровня 1, следует выполнить детальный анализ. Тем не менее, в целях ограничения усилий по выполнению ВОБ уровня 1 для сейсмической опасности, можно провести ограничивающий анализ сейсмических опасностей определенного диапазона.

²⁵ Примеры категорий воздействий (см. [12]) таковы:

- a) потеря внешнего энергоснабжения или обесточивание электростанции;
- b) снижение эффективности функционирования или потеря конечного поглотителя тепла;
- c) взрыв или выброс опасного материала;
- d) деградация или изоляция системы вентиляции станции (ввиду риска токсического воздействия).

На данном этапе следует также рассматривать вторичные последствия сейсмических опасностей (например, пожары и наводнения, вызванные сейсмическим явлением). Помимо настоящего руководства по безопасности, подробные рекомендации по сейсмической оценке существующих ядерных установок, включая соображения в отношении ВОБ, приведены в [13].

Сильные ветры

8.9. Следует учитывать и подвергнуть ограничивающему анализу или детальному анализу, в зависимости от места расположения площадки, несколько видов сильного ветра:

- a) ветры и другие последствия, связанные с торнадо;
- b) ветры, связанные с тропическими циклонами (циклоны, ураганы, тайфуны);
- c) внетропические сильные ветры (грозы, шквалистые фронты, погодные фронты и т.д.).

Следует учитывать сочетание сильных ветров с другими опасными явлениями, принимая во внимание возможные зависимости (например, сильные ветры и высокие уровни воды).

Внешние наводнения

8.10. При ВОБ уровня 1 следует рассматривать следующие виды опасностей, связанных с наводнением:

- a) высокий уровень воды в реке или озере;
- b) приливы;
- c) штормы, вызываемые ветрами;
- d) экстремальные случаи атмосферных осадков;
- e) цунами;
- f) сейши;
- g) затопления, вызванные оползнями;
- h) затопления, вызванные антропогенными воздействиями (например, неисправность дамб, молов, плотин).

Сочетание внешних наводнений с другими опасными явлениями следует рассматривать с учетом возможных зависимостей (например, высокого уровня воды, последующих прорывов дамб).

8.11. Последствия сильного дождя и других видов затоплений, таких как накопление воды на крышах зданий и в пониженных участках станции, следует включать в сферу охвата анализа.

Другие природные опасности

8.12. При ограничивающем анализе следует рассматривать всеобъемлющий перечень потенциально природных опасностей (помимо сейсмических опасностей, сильных ветров и внешних наводнений). Перечень природных опасностей, представленный в Приложении I, и перечень природных опасностей, рассматриваемых в документации по техническому обоснованию безопасности станции, следует использовать в качестве основы для определения опасностей; в надлежащих случаях следует также рассматривать природные опасности для конкретной площадки.

8.13. Следует учитывать сочетание природных опасностей с другими опасными явлениями, принимая во внимание возможные зависимости (например, суровые погодные условия, сильные ветры).

Антропогенные опасности

8.14. Как минимум, следует учитывать следующие источники **антропогенных** опасностей:

- a) распространение пожара из близлежащих энергоблоков или объектов станции;
- b) взрывы твердых веществ или газовых облаков на близлежащих объектах вследствие транспортной аварии или аварии на трубопроводе;
- c) выбросы химических веществ на близлежащих объектах или вследствие транспортной аварии или аварии на трубопроводе;
- d) авиационная катастрофа;
- e) столкновения морских судов с водозаборными сооружениями.

В качестве антропогенных опасностей следует рассматривать следующие источники:

- a) летящие обломки других установок на площадке;
- b) земляные работы снаружи и внутри территории площадки;
- c) электромагнитные помехи (например, магнитные или электрические поля, создаваемые радарными, радио- или мобильными телефонами).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ

Общие аспекты

8.15. Следует определять наиболее важные параметры, относящиеся к потенциальному ущербу от внешних опасностей. Некоторые параметры следует определять, когда потенциальный ущерб от опасности не может быть охарактеризован одним параметром.

Сейсмические опасности

8.16. Сейсмические опасности характеризуются несколькими параметрами:

- a) интенсивностью, являющейся описательным индексом для измерения последствий и повреждения;
- b) колебаниями грунта, например, ускорением, скоростью, смещением;
- c) частотный составом, который обычно представлен спектром отклика;
- d) историей всего периода сейсмического явления, выражаемой ускорением, скоростью, смещениями и т.п.

Если при ВОБ уровня 1 для задания характеристик возможности повреждения, вызванного сейсмической активностью (например, максимального ускорения при колебаниях грунта) используется в упрощенном виде один параметр, то при оценке конкретных воздействий сейсмических опасностей следует также учитывать другие параметры:

- a) частотный состав имеет важное значение для учета дребезга контактов реле и для определения реакции и непрочности конструкций и элементов, а также стресс-факторов, влияющих на ошибки оператора;
- b) местные геологические условия являются важным фактором, который следует принимать во внимание в отношении вторичных эффектов, таких как разжижение грунта, проседание грунта, нестабильность склонов, обвалы, разломы поверхности или образование трещин.

8.17. Спектральное ускорение или усредненное спектральное ускорение в выбранной полосе частот следует использовать, если имеющиеся данные поддерживают его оценку²⁶.

²⁶ Спектральное ускорение предоставляет более исчерпывающую информацию, чем максимальное ускорение грунта.

8.18. Колебание грунта, вызванное землетрясением, не следует исключать из рассмотрения (например, сейсмические волны могут достичь любой точки на земной поверхности).

8.19. Не следует исключать колебание грунта при землетрясении.

Сильные ветры

8.20. В зависимости от типа ветра следует учитывать различные параметры:

- a) динамическую нагрузку при порывах и ветровую нагрузку, усредненную за определенный период времени (например, 10 минут), являющиеся важными параметрами для определения характеристик продолжительных поступательных ветров;
- b) скорость вращения, перепад давления, путь перемещения торнадо и потенциальное воздействие (например, размер и скорость) летящих предметов, порожденных торнадо, являющихся важными параметрами для определения характеристик торнадо и т. п.

Внешние наводнения

8.21. Потенциальный ущерб от внешних наводнений может быть охарактеризован расходом, скоростью, уровнем воды, продолжительностью и вкладом волнового воздействия. Некоторые или все эти параметры следует оценивать для определения характеристик внешних наводнений. Для наводнений обычно используются следующие параметры:

- a) река: уровень воды, расход/скорость воды и продолжительность наводнения;
- b) море/озеро: уровень воды, продолжительность наводнения и скорость;
- c) волны: высота, длина, период, скорость и направление ветра;
- d) накат волн: высота, количество воды при перехлесте волн и количество в секунду;
- e) сейша: частота колебаний и высота волн;
- f) лед: толщина и скорость течения.

8.22. Скорость, направление и продолжительность ветра, который может возникать одновременно с наводнением, следует учитывать в качестве возможной совокупной опасности.

Другие природные опасности

8.23. С конкретной площадкой может быть соотнесен широкий спектр природных опасностей. Для каждой конкретной опасности следует задавать параметры, ограничивающие все потенциальные эффекты, связанные с данной опасностью.

8.24. Для каждой опасности параметры следует отбирать таким образом, чтобы обеспечивалась возможность анализа совместного воздействия опасностей.

Антропогенные опасности

8.25. Для каждой антропогенной опасности параметры следует определять на основе соответствующего конкретного потенциала повреждающего воздействия данных параметров, например:

- a) для многих видов опасностей, связанных с транспортировкой, реальную опасность представляет взрыв или выброс опасных веществ. Основным параметром должно быть количество перевозимого вещества или максимальное количество, которое может содержаться в выбросе в случае аварии;
- b) для выбросов с близлежащих промышленных объектов надлежащими параметрами являются характер вещества и максимальное количество, которое может содержаться в выбросе в случае аварии;
- c) для столкновения ключевой параметр следует соотносить с воздействием, т. е. массой и скоростью воздействующего объекта (например, баржи, сталкивающейся с водозаборным устройством, или самолета, сталкивающегося с конструкцией);
- d) если антропогенная опасность вызвана взрывом после прямого воздействия (например, падения самолета), в основные параметры следует включать некоторую комбинацию количества топлива на борту и массы тяжелых двигателей, которые могут повредить конструкцию;
- e) для таких опасностей, как аварии на трубопроводах, надлежащими параметрами являются перечень материалов, которые могут содержаться в выбросах, и характер и давление этих материалов.

8.26. Любая антропогенная опасность может повлечь за собой сочетание различных факторов динамического воздействия, которые необходимо учитывать. Например, падение самолета может вызвать непосредственное повреждение, взрыв, пожар и вибрацию. Подобным же образом авария на трубопроводе может привести к взрыву (импульсной нагрузке, возникающей

в результате мгновенного сгорания или детонации). При этом также могут образоваться летящие предметы, которые могут воздействовать на различные части станции. При определении характеристик антропогенных опасностей следует учитывать все первичные и вторичные эффекты. Независимо от происхождения исходного события, эффект следует выражать следующими параметрами:

- a) динамической нагрузкой;
- b) тепловой нагрузкой;
- c) вибрационной нагрузкой;
- d) распространением токсичных газов и т.п.

8.27. В случае взрыва газовых облаков следует принимать во внимание возможный дрейф от места их возникновения к станции.

8.28. Следует также рассмотреть сочетание антропогенной опасности с другими опасными явлениями, с учетом возможных зависимостей (например, выбросов химических веществ, скорости и направления ветра).

ДЕТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ

8.29. Детальный анализ внешних опасностей следует выполнять для всех опасностей, которые не были отсеяны при первоначальном скрининге и для которых ограничивающий анализ дает результаты, из которых в данном конкретном применении трудно сделать выводы и дать рекомендации или оценить значимость вклада в риск опасности или сценария аварии.

8.30. Если ограничивающий анализ дает информативные результаты не для всего спектра опасностей, а только для опасностей с определенными параметрами, то весь спектр опасностей следует разделить на подкатегории и следует провести детальный анализ для конкретных подкатегорий или связанных с ними сценариев. Необходимой предпосылкой проведения детального анализа внешних опасностей является наличие модели ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий.

8.31. Подробный анализ следует основывать на реалистичных моделях и данных, включая всеобъемлющую модель ВОБ уровня 1, которая предоставляет возможность моделирования всех явлений, связанных с рассматриваемой внешней опасностью.

8.32. При проведении детального анализа следует учитывать совокупное воздействие внешних опасностей, если они имеют общий источник (например, сильные ветры, молнии) или другие взаимосвязи (например, высокий уровень воды по причине выпадения осадков, прорыва дамбы).

ОЦЕНКА ЧАСТОТЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ

Общие аспекты

8.33. Целью оценки частоты возникновения внешних опасностей является получение подробной актуальной для площадки информации о связи между величиной (представленной определенным параметром для опасности) и частотой возникновения для каждой потенциально актуальной внешней опасности («кривой риска»). При оценке частоты следует использовать информационные ресурсы по станции и окружающей среде.

8.34. Внешние опасности характеризуются несколькими выходными параметрами, некоторые из которых могут иметь вероятностную зависимость. Для упрощения, кривая риска в основном описывается ограниченным количеством параметров (обычно одним). Другие параметры, которые могут понадобиться для «полного» описания опасности, как правило, рассматриваются в анализе реакции и оценке неустойчивости.

8.35. Анализ опасностей (оценка частоты превышения определенной интенсивности) должен основываться на специфической для площадки вероятностной оценке, которая отражает недавно появившуюся информацию, информацию по конкретной площадке, и условия на станции «как построено» и «как эксплуатируется», если соответствующие сведения доступны. При анализе следует использовать историческую информацию и феноменологические модели по отдельности или совместно. Всегда, когда они доступны, следует использовать обновленную информацию о возникновении опасностей и современную методологию. Как правило, для представления неопределенности в определении характеристик опасности разрабатывается набор кривых риска.

8.36. Следует выполнять анализ временных тенденций с целью подтверждения отсутствия тенденций к увеличению частоты возникновения опасностей. Недавние, кратковременные тенденции к уменьшению частоты возникновения опасностей не следует учитывать до тех пор, пока не будет

хорошо понятно, что они вызываются процессами, носящими неслучайный характер²⁷.

8.37. Когда частоты опасностей устанавливаются на основе региональных или обобщенных данных, следует провести корреляционный анализ с целью понимания того, в какой степени эти данные применимы к конкретной площадке и являются современными. Неопределенности, связанные с использованием региональных и обобщенных данных, следует отражать в наборе кривых риска, если это оговорено (см. пункт 8.35).

8.38. Если при получении кривых риска предполагается использовать экспертное выявление или иные экспертные действия, то следует установить и соблюдать процедуру выполнения такого рода действий. В этой процедуре следует обеспечивать установление формального, хорошо структурированного и документированного процесса, в котором соблюдены по крайней мере следующие условия:

- a) выбраны квалифицированные эксперты, способные оценивать относительную достоверность нескольких альтернативных гипотез с целью объяснения имеющейся информации;
- b) сохраняется независимость мнений экспертов;
- c) использование, обоснованность и справочная информация для вынесения экспертного заключения документируются отслеживаемым и воспроизводимым образом;
- d) указаны неопределенности и вариабельность экспертного заключения. Оценивается влияние или воздействие такого рода неточностей и вариабельности;
- e) выводы, сделанные по результатам проведенного процесса, хорошо обоснованы.

Сейсмические опасности

8.39. Частота землетрясений на площадке должна основываться на вероятностном анализе сейсмических опасностей для конкретной площадки.

²⁷ Например, наблюдаемое разнообразие русла реки может быть использовано для обоснования снижения частоты связанных с этим аварий при транспортировке.

8.40. Следует разработать всеобъемлющую современную базу данных, отражающую современный уровень знаний и включающую:

- a) геологические, сейсмологические и геофизические данные;
- b) сведения о локальной топографии площадки;
- c) данные о геотехнических и геофизических свойствах площадки.

В рамках сбора информации следует составить каталог исторически зафиксированных, геологически установленных и/или зарегистрированных приборами землетрясений.

8.41. Следует рассмотреть все достоверные источники потенциально разрушительных землетрясений. Сейсмические источники следует характеризовать местоположением и геометрией источника, максимальной магнитудой землетрясения и частотой повторений. В характеристики источника следует включать случайные и эпистемологические неопределенности²⁸.

8.42. Процесс использования экспертного заключения, касающегося характеристик сейсмических источников, должен соответствовать рекомендациям, приведенным в пункте 8.38.

8.43. Диапазон параметров, используемых для описания сейсмических рисков, следует выбирать достаточно большим и детализированным с целью обеспечения возможности точной оценки сейсмического риска и следует согласовывать его с физическими данными и их интерпретацией.

8.44. Для нижнего граничного значения параметра, используемого в анализе опасности, следует показать, что сейсмические события с любым более низким значением параметра не вызовут какого-либо повреждения конструкций и элементов, включая те из них, которые находятся за пределами площадки, такие, как линии электропередач и трубопроводы, содержащие опасные материалы.

8.45. При оценке частоты возникновения сейсмической опасности следует обеспечивать, чтобы размер рассматриваемого региона и масштабы исследований были достаточны для того, чтобы охарактеризовать все

²⁸ Случайные неопределенности возникают в результате случайной или стохастической природы происшествий, моделируемых в ВОБ. Эпистемологические неопределенности возникают по причине ограничений изученности данного вопроса.

достоверные сейсмические источники, которые могут внести вклад в оцененную частоту возникновения по определенному параметру.

Сильные ветры

8.46. Модель, используемая для расчета частоты и интенсивности сильных ветров, должна быть основана на данных конкретной площадки, отражающих последнюю имеющуюся региональную и связанную с конкретной площадкой информацию. В анализ следует включать по крайней мере сведения о наихудших погодных условиях, зафиксированных на площадке. Поэтому в оценке частоты ветров не должны преобладать последние, кратковременные тенденции к уменьшению частоты возникновения сильных ветров.

8.47. При расчете частот и интенсивностей смерчей следует применять современную методологию и новейшие данные относительно частоты возникновения, интенсивности и других параметров смерчей. В эти расчеты следует включать такие параметры:

- a) варьирование интенсивности смерчей в зависимости от частоты их возникновения;
- b) связь ширины зоны разрушений с ее длиной;
- c) связь площади смерча с его интенсивностью;
- d) изменение интенсивности смерча по длине его пути;
- e) изменение интенсивности смерча по ширине его пути;
- f) изменение перепада давления в смерче по ширине его пути.

8.48. При расчетах частот и интенсивностей ураганов следует применять современную методологию и новейшие данные относительно частоты возникновения, интенсивности и других параметров ураганов. В эти расчеты следует включать такие параметры:

- a) распределение давления в центре;
- b) радиус максимальных ветров;
- c) ослабление бури над поверхностью земли;
- d) характеристики поля скоростей ветра;
- e) место пересечения береговой линии и т.д.

8.49. Для оценки затропических бурь и иных явлений с сильными прямыми ветрами следует использовать соответствующие зарегистрированные данные о скорости ветра на площадке. Неопределенности, возникающие

вследствие отсутствия метеостанций, следует консервативным образом учитывать при разработке кривых риска для сильных ветров.

Внешние затопления

8.50. Расчет частоты и последствий внешних затоплений на площадке должен основываться на вероятностном анализе, отражающем последнюю имеющуюся информацию по конкретной площадке. Если информация по площадке имеется лишь за короткий промежуток времени, следует использовать региональную информацию о наводнениях с подтверждением достоверности такой информации (иными словами, для подтверждения применимости региональных данных для площадки можно использовать корреляционный анализ).

8.51. Следует учитывать и полностью распространять неопределенности в моделях и значениях параметров с целью получения набора кривых риска, из которых можно будет выделить среднюю кривую риска. В анализ частот и последствий экстремальных паводков следует включать наводнения, вызванные одиночными или каскадными прорывами дамб.

8.52. Подсчет частоты и последствий экстремальных наводнений на побережье океанов должен основываться на вероятностном анализе, отражающем последнюю имеющуюся информацию по конкретной площадке. Эти данные следует дополнять долгосрочными сведениями по другим прибрежным районам, с надлежащим учетом топографии местности, содержащей сведения как о прибрежной зоне, так и о наземных территориях. Следует также рассматривать сочетание сильных волн и сильных ветров.

8.53. Подсчет частоты и последствий экстремальных разливов озер должен основываться на вероятностном анализе, отражающем последнюю имеющуюся информацию по конкретной площадке. Следует всегда учитывать воздействие ветровых волн, включая любое потенциальное повышение уровня воды в результате смерча.

8.54. Расчет частоты и последствий цунами должен основываться на достоверной региональной информации, подкрепленной инженерным анализом. Следует надлежащим образом учитывать неопределенности, связанные с частотой и последствиями цунами.

Другие природные опасности

8.55. Следует разработать всеобъемлющую базу данных широкого назначения и использовать ее в поддержку оценки частоты возникновения конкретных природных опасностей. В базу данных следует включать всю соответствующую информацию, необходимую для проведения реалистичных и достоверных оценок кривых риска. В частности, в базу данных следует включать историческую информацию о возникновении опасностей вблизи площадки и в регионе за период, по которому имеются данные.

8.56. Частоту возникновения конкретных природных опасностей следует оценивать с применением как данных по конкретной площадке, так и региональных данных. В поддержку региональных данных следует использовать корреляционный анализ.

8.57. В определенных случаях, когда не имеется ни данных по конкретной площадке, ни региональных данных, можно использовать мировые данные. При использовании мировых данных следует изучить применимость этих данных к рассматриваемой площадке и следует документировать все допущения, использованные при анализе.

Антропогенные опасности

8.58. Следует проводить сбор соответствующей информации (предпочтительно в виде базы данных) и использовать ее для оценки частоты возникновения конкретных антропогенных опасностей. В эту информацию следует включать, как минимум, следующие данные, необходимые для проведения реалистичных и достоверных оценок частоты возникновения опасностей:

- а) качественную и количественную информацию относительно состава взрывчатых, опасных или токсичных материалов, хранящихся на площадке и за ее пределами, не превышающими заранее установленного расстояния от атомной электростанции, в том числе информацию относительно:
 - і) потенциально опасных источников (находящихся не далее заранее установленного расстояния от атомной электростанции):
 - за пределами площадки:
 - нефтехранилищ;
 - газопроводов или нефтепроводов;

- линий автотранспортных перевозок;
- линий железнодорожных перевозок;
- линий речных перевозок;
- иных объектов;
- на площадке:
 - хранилищ (кислот, гидразина и т. п.);
- ii) расстояния (в километрах) от потенциально опасных источников до атомной электростанции:
 - до конструкций;
 - до зданий, в которых находится важное для безопасности оборудование;
 - до вентиляционных воздухозаборов;
- b) данные о местонахождении военных или тренировочных объектов, деятельность которых может повлиять на работу станции, и данные о частоте проведения учебных мероприятий;
- c) вероятность и частота аварий и их потенциальные последствия (возможность возникновения взрывов).

АНАЛИЗ НЕУСТОЙЧИВОСТИ КОНСТРУКЦИЙ И ЭЛЕМЕНТОВ

Общие аспекты

8.59. Неустойчивость²⁹ конструкций и элементов следует оценивать с использованием информации для конкретной станции, если она имеется, а также в той степени, в которой это необходимо для целей анализа (ограничивающий анализ или детальный анализ) и принятых инженерных методов. При этом анализе следует учитывать результаты обходов станции.

8.60. При анализе неустойчивости не следует ограничиваться лишь конструкциями, находящимися на площадке, и в него следует включать конструкции за пределами площадки, такие как линии электропередач и трубопроводы, содержащие вредные вещества, поскольку их неисправности могут приводить к таким исходным событиям, как отключение внешнего энергоснабжения или взрыв. Подобные отказы могут быть тесно связаны в случае, если уровни неустойчивости незначительны.

²⁹ Неустойчивость — это условная вероятность отказа системы конструкции или элемента при воздействии опасности с заданным входным уровнем.

8.61. В анализ неустойчивости следует включать неопределенности базовой информации, в частности в тех случаях, когда используются данные, отличные от данных для конкретной станции (так называемые обобщенные данные).

Сейсмические опасности

8.62. В перечень конструкций и элементов, в отношении которых проводится анализ неустойчивости, следует включать все конструкции и элементы, входящие в модель ВОБ уровня 1 для сейсмических опасностей. Исходный набор элементов следует формировать на основе перечня элементов для ВОБ уровня 1. Этот перечень следует расширить с целью включения всех конструкций и элементов, а также их комбинаций, которые в случае отказа могут внести вклад в частоты повреждения активной зоны или возникновения крупных выбросов; последние важны для вопросов, связанных с ВОБ уровня 2.

8.63. Все реалистичные режимы отказов устройств и элементов, создающих помехи работоспособности оборудования во время землетрясения и после него, следует определять посредством изучения проектной документации станции и ее обходов.

8.64. Следует оценивать неустойчивости для всех соответствующих режимов отказов конструкций (например, оползневого перемещения, опрокидывания, осадки, чрезмерного смещения), оборудования (например, разрушения анкерных креплений, соударения со смежным оборудованием или конструкциями, отказов раскреплений, функциональных отказов) и почвы (например, разжижения почвы, неустойчивости склонов, чрезмерной неравномерной осадки), которые считаются критически важными.

8.65. Анализ неустойчивости следует подкреплять обходом станции. Во время обхода основное внимание следует уделять анкеровке, боковому раскреплению на случай воздействия сейсмических нагрузок и потенциальным взаимодействиям конструкций, систем и элементов. Особое внимание следует уделять возможности падения не аттестованных на сейсмостойкость конструкции, системы или элемента на аттестованное по сейсмостойкости оборудование.

8.66. При проведении обходов следует также уделять особое внимание возможности возникновения пожаров и наводнений в результате сейсмических воздействий.

8.67. Расчеты параметров, связанных с сейсмической неустойчивостью (например, средней сейсмостойкости конструкций и ее вариабельности) следует основывать на данных для конкретной станции, дополненных информацией по фактическим землетрясениям, данными испытаний неустойчивости и данными общих аттестационных испытаний.

8.68. Если на основе общих данных необходимо провести скрининг конструкций и элементов с низкой неустойчивостью, то следует доказать, что общие данные используются консервативно и что учтены все существенные особенности конкретной станции и площадки.

8.69. Сейсмические реакции конструкций и элементов на уровне их отказов следует оценивать на основе конкретных спектров колебаний при землетрясениях для конкретной площадки, связанных с параметром колебаний почвы (например, усредненным спектральным ускорением).

8.70. При расчете совместных распределений вероятности откликов конструкций и элементов, расположенных в разных зданиях, следует учитывать неопределенности исходных колебаний грунта и свойств конструкций и почвы.

8.71. Для всех конструкций и элементов, на которые воздействуют доминирующие аварийные последовательности, следует обеспечивать, чтобы соответствующие параметры неустойчивости для конкретной площадки были разработаны на основе информации для конкретной станции. Это важно для того, чтобы избежать искажения вклада сейсмических опасностей в результаты ВОБ уровня 1 и полученные в результате нее сведения.

Сильные ветры

8.72. При оценке влияния сильных ветров следует учитывать специфические особенности внешних барьеров (т.е. стен и крыш), окружающих конструкции, связанные с обеспечением безопасности, любые подверженные воздействию погодных условий конструкции, системы или элементы или их комбинации, а также последствия повреждений, нанесенных предметами, переносимыми ветром, которые могут приводить к исходному событию. Следует провести обследование зданий станции и прилегающих территорий с целью оценки количества и типов объектов, которые могут быть подхвачены сильными ветрами и превратиться в

летающие предметы. Следует также на основе современных методологий определить вероятности ударов летящих предметов.

8.73. Следует провести оценку с целью определения характерных для станции реалистических неустойчивостей при воздействии сильных ветров на конструкции, системы или элементы, или их комбинации, отказы которых могут приводить к исходному событию.

8.74. При проведении оценки связанных с воздействием ветра неустойчивостей конструкций или элементов следует использовать данные для конкретной станции. При оценке следует учитывать конструкции, не связанные с безопасностью, которые могут попасть внутрь связанных с безопасностью конструкций или упасть на них и тем самым вызвать повреждение. При таких оценках следует использовать в качестве важного источника информации сведения, полученные во время обходов станции.

8.75. Следует построить и описать в терминах средней скорости ветра и характеристик неопределенностей (например, логарифмических стандартных отклонений) набор кривых неустойчивости, соответствующих конкретному виду отказа для каждой конструкции или элемента и представляющих степень случайности номинальных параметров и неопределенность срединных значений номинальных параметров конструкций или элементов.

Внешние затопления

8.76. Для условий, соответствующих высокому уровню воды в реке, следует проводить анализ прорывов дамб, и следует определять связанные с этим частоты³⁰.

8.77. При оценке неустойчивостей конструкций или элементов, связанных с внешними затоплениями, следует использовать данные для конкретной станции. При оценке следует учитывать конструкции, не связанные с безопасностью, которые могут попасть внутрь связанных с безопасностью конструкций или упасть на них и тем самым вызвать их повреждение. При таких оценках следует использовать в качестве важного источника информации сведения, полученные во время обходов станции. В

³⁰ Возможность прорывов дамб следует рассчитывать для разных уровней воды в реке. Как правило, прорыв дамбы предполагается при уровне воды в реке, превышающем проектный уровень прорыва дамбы.

рассмотрение следует включать все конструкции, расположенные на нижних уровнях, в частности, водозаборные сооружения и конечные поглотители тепла.

8.78. При анализе неустойчивости следует учитывать эффекты погружения, влияние создаваемых волнами динамических нагрузок на конструкции и элементы и неравномерную осадку фундамента (эрозию почвы).

Другие природные опасности

8.79. В отношении других природных опасностей следует с учетом применимости выполнять общие положения и рекомендации по проведению анализа неустойчивости при воздействии сейсмических опасностей, сильных ветров и внешних затоплений.

Антропогенные опасности

8.80. В отношении антропогенных опасностей следует с учетом применимости выполнять общие положения и рекомендации по проведению анализа неустойчивости при воздействии сейсмических опасностей, сильных ветров и внешних затоплений.

ИНТЕГРАЦИЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ НА УРОВНЕ 1 ВОБ

Общие положения

8.81. Модель ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий на практике всегда используется в качестве основы для модели ВОБ уровня 1 для внешних опасностей. Модель ВОБ уровня 1 следует получать путем адаптации модели ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий с целью включения отличных аспектов, связанных с воздействием внешних опасностей. Основные воздействия опасности, которые могут приводить к различным классам внутренних исходных событий (например, крупной аварии с потерей теплоносителя, небольшой аварии с потерей теплоносителя, переходному режиму) или которые могут напрямую приводить к повреждению активной зоны, следует оценивать при выборе соответствующего дерева событий из модели ВОБ для внутренних исходных событий (например, с использованием дерева опасных событий). В Приложении II представлен пример дерева сейсмических событий для сейсмических опасностей. Соответствующие кривые риска для важных

конструкций, систем и элементов и их неустойчивости следует включать в модель ВОБ уровня 1 для внешних опасностей. В модели ВОБ уровня 1 для внешних опасностей следует учитывать все важные взаимозависимости, взаимосвязи и неопределенности, связанные с конкретной опасностью. Вероятности, связанные с восстановительными мероприятиями и ошибками оператора после аварийного отключения, следует пересматривать с целью оценки воздействия внешних опасностей на разрешенные восстановительные мероприятия и действия людей, моделируемые при ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий.

8.82. В модели ВОБ уровня 1 для внешних опасностей следует отражать условия на станции после ее сооружения и во время эксплуатации.

Сейсмические опасности

8.83. Модель ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий следует адаптировать таким образом, чтобы она включала специфические сейсмические аспекты, отличающиеся от соответствующих аспектов модели ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий.

8.84. На многих станциях действует требование относительно ручного останова станции в случае сейсмической опасности, повышающей определенную магнитуду (например, 50% магнитуды проектного землетрясения). В модели ВОБ уровня 1 для сейсмических опасностей следует отражать это требование даже для случаев, когда система преобразования энергии имеет высокую сейсмостойкость и когда можно избежать автоматической аварийной остановки реактора.

8.85. В модель ВОБ уровня 1 для сейсмических опасностей следует включать все важные исходные события сейсмического происхождения, которые могут приводить к повреждению активной зоны. В частности, следует моделировать исходные события, ведущие к сценариям описанного ниже вида:

- a) отказы важных компонентов (например, корпуса ядерного реактора, парогенераторов, компенсатора давления);
- b) аварии с потерей теплоносителя различных масштабов и локализаций. Вызванные сейсмическим воздействием незначительные аварии с потерей теплоносителя, связанные с возникновением разрывов в малых линиях (например, импульсных линиях) следует также

рассматривать в модели ВОБ уровня 1 для сейсмических опасностей в качестве дополнительного режима отказов;

- с) отказ внешнего электроснабжения;
- d) переходные режимы (с отказом системы преобразования энергии и без него), включая отказы различных вспомогательных систем.

8.86. Если исходные события сейсмического происхождения приводят к специфическим аварийным сценариям, не учтенным в модели ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий, то к моделям ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий следует добавлять модели для специфических аварийных последовательностей. Модель ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий следует расширить с целью включения сейсмических опасностей в ВОБ уровня 1, так чтобы учесть отказы большого круга компонентов или такие режимы отказов компонентов, как отказы пассивных компонентов (конструкций, строений, распределительных систем, кабельных коробов, дребезг контактов реле и т.д.). Следует учитывать воздействия на внутриреакторные устройства, в частности, заклинивание регулирующего стержня вследствие воздействия сейсмического события на активную зону реактора.

8.87. Все конструкции, системы и элементы, смоделированные при ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий, и те конструкции, системы и элементы, для которых повреждение сейсмического происхождения может повлиять на аварийные последовательности, следует включать в модель ВОБ уровня 1 для сейсмических опасностей.

8.88. В модель ВОБ уровня 1 для сейсмических опасностей следует включать все не связанные с сейсмическим воздействием отказы, неготовности к работе и ошибки оператора, которые могут внести существенный вклад в частоту повреждения активной зоны.

8.89. В модели вызванного сейсмическим воздействием повреждения конструкций, систем и элементов следует тщательно учитывать все зависимые отказы оборудования, находящегося в здании после повреждения здания во время сейсмического события. Если зависимости такого рода необходимо удалить из модели или если их значимость для модели снизилась, то это следует обосновывать.

8.90. В модель ВОБ уровня 1 для сейсмических опасностей следует соответствующим образом интегрировать оценку сейсмических опасностей, сейсмических неустойчивостей, зависимостей между конструкциями,

системами и элементами, отказов, вызванных не сейсмическим воздействием, неготовности к работе или ошибок оператора.

8.91. Следует провести тщательную проверку и связанную с ней корректировку в отношении восстановительных действий и вероятностей ошибок оператора. Восстановительные действия, которые не могут быть выполнены по причине воздействия сейсмических событий определенной силы, следует исключить из модели ВОБ уровня 1, или следует увеличить вероятности отказов при выполнении действий. Все последующие ошибки оператора, которые могут возникать в ответ на исходное событие, как смоделировано при ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий, следует пересматривать и корректировать с учетом конкретных сейсмических условий. Как минимум, следует учитывать приведенные ниже вызванные сейсмическим событием воздействия на факторы, определяющие работу оператора:

- a) наличие проходов к конкретным конструкциям, системам и элементам после сейсмического события;
- b) повышенные уровни стресса ;
- c) отказы индикации или ложная индикация;
- d) отказ систем связи;
- e) сценарии с последствиями в виде пожара или затопления;
- f) прочие соответствующие факторы, оказывающие влияние на поведение оператора.

8.92. Пожары и затопления сейсмического происхождения следует включать в модель ВОБ уровня 1 для сейсмических опасностей в том случае, когда четко не обосновано, что другие повреждения в результате сейсмического события охватывают дополнительные воздействия, вызываемые пожарами и затоплениями сейсмического происхождения.

8.93. При количественном определении частоты возникновения повреждения активной зоны следует иметь в наличии, помимо общих результатов, ключевую информацию относительно каждой аварийной последовательности и минимального сечения, полученную в результате квантификации модели.

8.94. Следует выполнять интеграцию и квантификацию модели ВОБ уровня 1 для сейсмических опасностей, так чтобы неопределенности в каждом вводе сейсмических данных в 1 ВОБ уровня 1 (например, частоты возникновения сейсмических опасностей, сейсмические

неустойчивости, взаимозависимости и аспекты, связанные с системным анализом) надлежащим образом распространялись в модели для получения правильных характеристик неопределенности частоты повреждения активной зоны.

Сильные ветры

8.95. В модель ВОБ уровня 1 следует включать все исходные события, вызываемые сильными ветрами, и она должна быть настолько полной, насколько необходимо для моделирования всех связанных с ветрами воздействий.

8.96. В рассмотрение аварийных последовательностей, инициируемых сильными ветрами, следует включать кривые риска для конкретной площадки и неустойчивости всех конструкций, повреждение которых может приводить к отключению оборудования, смоделированного при ВОБ уровня 1. В число других рассматриваемых факторов следует включать неготовность или отказы оборудования и ошибки оператора, которые не связаны с сильными ветрами. Вероятности ошибок оператора следует корректировать таким образом, чтобы учитывалось воздействие ветров на факторы, определяющие работоспособность.

Внешние затопления

8.97. В рассмотрение аварийных последовательностей, инициируемых внешними затоплениями, следует включать кривые риска для конкретной площадки и неустойчивости всех конструкций, систем и элементов, повреждение которых может приводить к отключению оборудования, смоделированного при ВОБ уровня 1. В число других рассматриваемых факторов следует включать неготовность или отказы оборудования и ошибки оператора, которые не связаны с внешними затоплениями. Вероятности ошибок оператора следует корректировать таким образом, чтобы учитывалось воздействие затоплений на факторы, определяющие работоспособность (в частности, доступность оборудования).

8.98. При разработке моделей аварийных последовательностей для исходных событий, происходящих при воздействии внешних затоплений, следует тщательно учитывать неопределенности, зависимости и взаимосвязи.

Другие природные опасности

8.99. Следует применять общие положения и рекомендации по интеграции в модели сейсмических опасностей, сильных ветров и внешних затоплений.

Антропогенные опасности

8.100. Следует применять общие положения и рекомендации по интеграции в модели сейсмических опасностей, сильных ветров и внешних затоплений.

ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Общие положения

8.101. В пунктах 8.101-8.111 содержатся рекомендации по выполнению Требования 20 относительно документирования при ВОБ уровня 1 для внешних опасностей [3]. Скрининг-анализ, ограничивающий анализ и детальный анализ при ВОБ уровня 1 для внешних опасностей следует документировать таким образом, чтобы облегчать экспертное рассмотрение, а также будущие обновления и применения ВОБ уровня 1:

- a) скрининг каждой конкретной внешней опасности следует документировать таким образом, чтобы были описаны использованные процессы и были приведены подробные сведения об использованных методах, сделанных предположениях и предпосылок к ним;
- b) следует предоставить описание методов, использованных при составлении кривых риска для каждой внешней опасности, включая:
 - i) данные, использованные при составлении кривых риска;
 - ii) технические интерпретации, являющиеся основой для входных данных и результатов;
 - iii) основные предположения и связанные с ними неопределенности;
- c) следует предоставить подробный перечень конструкций, систем и элементов для анализа неустойчивости, наряду со сведениями о:
 - i) местонахождении каждой конструкции, системы или элемента;
 - ii) ключевых предположениях и методах, используемых при анализе неустойчивости;
 - iii) доминирующих режимах отказов для каждой конструкции, системы или элемента;
 - iv) источниках информации для анализа.

- d) конструкции, системы и элементы, не подлежащие анализу неустойчивости, следует также обсуждать и обеспечивать основу для их исключения из модели ВОБ уровня 1;
- e) следует тщательно документировать конкретные адаптации модели ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий, с указанием причин каждой адаптации;
- f) конечные результаты ограничивающего анализа и детального анализа следует документировать с указанием частот повреждения активной зоны, значимых минимальных сечений и значимых аварийных последовательностей по каждому сценарию, связанному с воздействием внешних опасностей. Следует также выполнять общие рекомендации по документированию, представленные в пунктах 3.15-3.22 данного руководства по безопасности.

8.102. Следует представлять основные результаты ВОБ уровня 1 внешних опасностей:

- a) частоты повреждения активной зоны и распределения неопределенностей для них;
- b) результаты исследований чувствительности;
- c) перечни значимых аварийных последовательностей и значимых минимальных сечений;
- d) обсуждение технической основы для значимых последовательностей и значимых минимальных сечений;
- e) описание основных факторов, вносящих вклад в неопределенности. Следует обсудить факторы, вносящие вклад в неопределенности как гносеологического, так и случайного характера.

Сейсмические опасности

8.103. Следует предоставить описание конкретных методов, использованных для описания характеристик сейсмических источников и выбранных параметров. В частности, следует тщательно документировать конкретные интерпретации, являющиеся основой для моделирования входных данных и результатов.

8.104. В документацию модели ВОБ уровня 1 следует включать приведенную ниже информацию:

- a) перечень конструкций, систем и элементов, рассмотренных при ВОБ уровня 1 для сейсмических опасностей;

- b) определение характеристик неустойчивости и их технические основы для каждой конструкции, системы и элемента;
- c) количественно выраженные вероятности повреждения для диапазона сейсмических опасностей, моделируемых при ВОБ уровня 1;
- d) значимые режимы отказов конструкций, систем и элементов и месторасположение каждой конструкции, системы и элемента;
- e) конкретные адаптации модели ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий с целью учета воздействия сейсмических событий;
- f) всеобъемлющая информация о зависимостях (в частности, по пространственным взаимодействиям), смоделированных при ВОБ уровня 1 для сейсмических опасностей, а также любые допущения, использованные с целью исключения или уменьшения влияния зависимостей.

8.105. Следует полностью описывать основу для исключения любой конструкции, системы или элемента.

8.106. Следует документировать методологии и процедуры, используемые для количественного анализа сейсмических неустойчивостей. Сюда следует включать перечисленные ниже различные аспекты анализа сейсмической неустойчивости:

- a) анализ сейсмического отклика;
- b) этапы проведения скрининга;
- c) обход оборудования на станции;
- d) рассмотрение проектных документов;
- e) определение критических режимов отказов для каждой конструкции, системы и элемента;
- f) расчеты неустойчивостей для каждой конструкции, системы и элемента.

8.107. Следует полностью документировать процедуры обходов станции, состав групп, выполняющих обходы, а также замечания и выводы после осуществленных обходов.

Сильные ветры

8.108. ВОБ уровня 1 для сильных ветров следует документировать таким образом, чтобы упростить рассмотрение, применение и обновление ВОБ уровня 1. В частности, в документацию следует включать приведенную ниже информацию:

- a) описание конкретных методов и данных, использованных при определении кривых риска для сильных ветров;
- b) конкретные изменения, внесенные в модель ВОБ уровня 1 для учета эффектов, связанных с воздействием сильных ветров;
- c) перечень всех конструкций, систем и элементов, рассмотренных при анализе, наряду с обоснованием причин исключения из анализа конструкций, систем и элементов;
- d) методология и данные, использованные при определении неустойчивости к воздействию ветров всех конструкций, систем и элементов, моделированных при ВОБ уровня 1;
- e) конечные результаты ВОБ уровня 1, выраженные в параметрах повреждения активной зоны, а также полезные промежуточные результаты.

Внешние затопления

8.109. ВОБ уровня 1 для внешних затоплений следует документировать таким образом, чтобы облегчались анализ, применение и обновление ВОБ уровня 1. В частности, в документацию следует включать приведенную ниже информацию:

- a) описание и конкретные методы и данные, использованные при определении кривых риска для внешних затоплений;
- b) конкретные изменения, внесенные в модель ВОБ уровня 1 с целью учета воздействия внешних затоплений;
- c) перечень всех конструкций, систем и элементов, рассмотренных при анализе, наряду с обоснованием причин исключения из анализа некоторых конструкций, систем и элементов;
- d) методология и данные, использованные при определении неустойчивости к воздействию внешних затоплений всех конструкций, систем и элементов, смоделированных при ВОБ уровня 1;
- e) конечные результаты ВОБ уровня 1, выраженные в параметрах повреждения активной зоны, а также полезные промежуточные результаты.

Другие природные опасности

8.110. Следует, по мере надобности, применять общие положения и рекомендации по документированию анализа сейсмических опасностей, сильных ветров и внешних затоплений.

Антропогенные опасности

8.111. Следует, по мере надобности, применять общие положения и рекомендации по документированию анализа сейсмических опасностей, сильных ветров и внешних затоплений.

9. ВОБ УРОВНЯ 1 ДЛЯ РЕЖИМОВ НИЗКОЙ МОЩНОСТИ И ОСТАНОВА

ОБЩИЕ АСПЕКТЫ ВОБ УРОВНЯ 1 ДЛЯ РЕЖИМОВ НИЗКОЙ МОЩНОСТИ И ОСТАНОВА

9.1. В данном разделе приведены рекомендации по выполнению Требований 6-13 в [3] относительно ВОБ уровня 1 для режимов низкой мощности и останова. В принципе за основу ВОБ уровня 1 для внутренних исходных событий в режимах низкой мощности и останова взята та же методология, как и для ВОБ уровня 1 для режимов номинальной мощности, описанных в разделе 5. Поэтому структура данного раздела в основном совпадает со структурой раздела 5 и общей основой проведения анализа, представленной на рис. 1, если специфика режимов низкой мощности и останова не потребует иного. Во избежание повторений материала приведены лишь ссылки на другие разделы настоящего руководства по безопасности, если методика и условия для режимов низкой мощности и останова не требуют конкретных описаний. Однако следует отметить, что целью анализа является не обязательно определение частоты повреждения активной зоны, поскольку частота повреждения твэлов и непреднамеренная критичность могут являться параметрами риска, представляющими интерес.

9.2. Так же, как и в режиме номинальной мощности, внутренние и внешние опасности могут быть важными для режимов низкой мощности и останова. Подходы, описанные в разделах 6-8 настоящего руководства по безопасности, применимы, но их необходимо изменять в зависимости от специфики режимов низкой мощности и останова. Набор исходных событий является, в принципе, идентичным, но скрининг событий может привести к другой конфигурации. Это происходит главным образом в ситуациях, когда продолжительность

режимов низкой мощности и останова является меньшей по сравнению с продолжительностью режимов номинальной мощности. Данное соотношение во многих случаях составляет порядка 1:10 или меньше. Очевидно, что вероятность возникновения внешней и внутренней угрозы в таком случае в режимах низкой мощности и останова резко снижается. С другой стороны, последствия для режимов низкой мощности и останова могут сильно отличаться. Например, при погрузке и разгрузке тяжелого оборудования особое внимание, вероятно, нужно уделять сейсмическим событиям или внутренним взрывам, а внутренние затопления могут также приводить к различным аварийным последовательностям на станции.

9.3. В режимах работы мощности и останова на станциях с легководными реакторами обычно проводятся следующие основные работы:

- a) переход в режим останова из режима номинальной мощности;
- b) эксплуатация системы отвода остаточного тепловыделения;
- c) открытие корпуса ядерного реактора, затопление шахты реактора;
- d) работы по перегрузке топлива;
- e) техническое обслуживание и испытания;
- f) отключение системы отвода остаточного тепловыделения и возврат в режим номинальной мощности.

Для других типов реакторов перечень работ может отличаться, например, такие работы, как открытие корпуса ядерного реактора и затопление шахты реактора не будут актуальны для канальных реакторов. В Приложении III представлены примеры схем вывода из работы реактора с водой под давлением и реактора кипящего типа, а также примеры эксплуатационных состояний станции.

СПЕЦИФИКАЦИЯ ТИПОВ ОСТАНОВОВ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СОСТОЯНИЙ СТАНЦИИ

9.4. В отличие от работы на номинальной мощности, в режимах низкой мощности и останова рабочие и эксплуатационные условия станции значительно изменяются. В целом (для станций, где перегрузка топлива осуществляется в автономном режиме), предусмотрены три различных типа остановов:

- 1) регулярные остановки для перегрузки топлива, во время которых также проводятся основные работы по техническому обслуживанию;

- 2) плановые остановки, во время которых проводятся только конкретные работы по техническому обслуживанию;
- 3) незапланированные, но прогнозируемые остановки, которые происходят при нарушениях условий нормальной эксплуатации на номинальной мощности.

Это отражено в техническом регламенте работы станции, который, как правило, разделен на несколько эксплуатационных режимов, причем для каждого режима прописаны свои требования к эксплуатации оборудования станции.

9.5. Надлежащая практика предусматривает проведение анализа всех типов остановов, описанных в пункте 9.4. Риски, связанные с остановами для перегрузки топлива, следует оценивать в полном объеме. Необходимость проведения полного анализа двух других типов остановов следует определять с учетом целей ВОБ уровня 1. Важно выполнение анализа по алгоритму действий, проводимых после нарушения нормальных условий эксплуатации до достижения безопасного и стабильного состояния. Прекращение выполнения анализа в фиксированное время, отведенное на выполнение конкретного задания, может не позволить получить значимые результаты. Во многих случаях в качестве первого шага проводится анализ по типовому останову. Для реакторов, находящихся в работе, таким остановом является останов по примеру последнего такого останова с добавлением элементов, взятых из документации по дополнительным последним остановам, а также из обсуждений с персоналом, ответственным за их планирование. При необходимости некоторые элементы остановов, которые могут рассматриваться в качестве создающих риски, следует оценивать отдельно. Например, в случаях остановов, запланированных с конкретной целью проведения определенных работ по техническому обслуживанию, сравнение риска, связанного с плановым остановом, с риском, связанным с непрерывной эксплуатацией, может предоставить важную исходную информацию для принятия решений.

9.6. Прогнозируемые изменения, вносимые в процедуры останова, следует включать в анализ, если одной из целей ВОБ является оценка рисков, связанных с будущей эксплуатацией.

9.7. В режимах низкой мощности и останова существует большое количество и разнообразие конфигураций станции, которые при индивидуальном рассмотрении приводят к чрезмерному количеству сценариев, которые необходимо проанализировать. Для рассмотрения разнообразия режимов низкой мощности и останова следует задать ограниченное число эксплуатационных

состояний станции, для которых состояние и конфигурация станции являются достаточно стабильными и представительными.

9.8. С целью ограничения числа комбинаций эксплуатационных состояний станции до управляемого уровня необходимо некоторое группирование аналогичных состояний. При таком группировании следует учитывать указанные ниже физико-технические аспекты состояний станции:

- a) критичность (и/или запас устойчивости) реактора;
- b) уровень остаточного тепловыделения;
- c) температура и давление в системе теплоносителя реактора;
- d) уровень воды в первом контуре;
- e) незамкнутый или замкнутый первый контур;
- f) состояние работоспособности петель в системе теплоносителя реактора;
- g) месторасположение ТВЭЛов;
- h) готовность систем безопасности и вспомогательных систем, в том числе наличие автоматического или ручного управления ими;
- i) системные настройки;
- j) состояние герметичности защитной оболочки.

9.9. При ВОБ уровня 1 для режимов низкой мощности и останова эксплуатационные состояния станции следует указывать на основе фактического эксплуатационного опыта и в соответствии с существующей практикой и процедурами. В зависимости от выбора типа останова, произведенного на предыдущем этапе (пункт 9.5), следует провести подробный анализ надлежащего числа остановов с целью определения фактического состояния всех интересующих параметров в течение всего времени останова. Источники информации, используемые для этих целей, как правило, включают:

- a) процедуры останова и пуска;
- b) план проведения останова по конкретному(ым) останову(ам);
- c) общая методика работы станции в периоды остановов;
- d) технический регламент проведения остановов;
- e) руководящие принципы контроля конфигурации;
- f) другие документы, содержащие информацию об остановах (т.е. журналы с детальными данными о концентрации борной кислоты);
- g) записи о проведении технического обслуживания (с указанием продолжительности проведения технического обслуживания по конкретным компонентам);
- h) собеседования с операторами и начальниками смен;
- i) собеседования со специалистами по планированию остановов.

Из таких источников следует получать и документировать всю информацию, относящуюся к описанию эксплуатационных состояний станции, особенно наличия функций безопасности и прочих существенных функций. Пример выбора эксплуатационного состояния станции включен в Приложение III, в котором проводилась дифференциация 11 различных режимов эксплуатации станции. Однако необходимо обратить особое внимание на то, что при ВОБ уровня 1 для режимов низкой мощности и останова анализ должен основываться на гораздо большем числе эксплуатационных состояний станции, в зависимости от конкретного применения ВОБ, например, для применений мониторов риска.

9.10. Для обеспечения охвата всего эксплуатационного цикла, а также с целью предотвращения упущения возможных компонентов риска по режимам эксплуатации станции, например, работы станции на промежуточных уровнях мощности, или во избежание двойной работы следует четко определять точки сопряжения между эксплуатационными состояниями станции (включая работу на номинальной мощности) с указанием продолжительности, уровня мощности и конфигурации системы по каждому эксплуатационному состоянию станции, частоты (за один календарный год) перехода в каждое эксплуатационное состояние станции и возникновения исходных событий (например, частота одного и того же события может оцениваться для анализа как при номинальной, так и при низкой мощности). Для этой цели следует использовать данные об истории эксплуатации установки.

АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ СОБЫТИЙ

9.11. В принципе, определение исходных событий проводится в соответствии с тем методом, описание которого приводится в пунктах 5.11-5.39. В связи с этим следует рассматривать аварии с потерей теплоносителя и переходные режимы, а также исходные события, которые выявлены при анализе внутренних и внешних опасностей. В качестве отправной точки на основе проведенного анализа работы на номинальной мощности можно составить общий перечень. Данный перечень необходимо будет изменять и расширять в соответствии с шагами, описанными в пунктах 9.12-9.22.

9.12. В пункте 5.11 исходные события определены как события, которые косвенным образом могут приводить к повреждению активной зоны либо к нарушениям условий нормальной эксплуатации, когда для предотвращения повреждения активной зоны требуется принятие эффективных смягчающих мер с использованием систем, связанных или не связанных с безопасностью. Как

указано в пунктах 9.4-9.8, активная зона реактора в различных режимах низкой мощности и останова может находиться в самых разных конфигурациях, например, активная зона может находиться внутри корпуса реактора или быть выгружена в бассейн выдержки топлива внутри защитной оболочки. (Топливо, находящееся на хранении в бассейне выдержки отработавшего топлива вне здания реактора, не рассматривается в данном руководстве по безопасности.) Поэтому число исходных событий является уникальным для конкретных условий останова, и они будут отличаться от условий, выявленных при ВОБ уровня 1 для эксплуатации на номинальной мощности (см. примеры в Приложении III). Кроме того, большинство исходных событий могут быть антропогенными и связанными с работами по техническому обслуживанию или с эксплуатационными процедурами. Основными категориями исходных событий, представляющими интерес при ВОБ уровня 1 для режимов низкой мощности и останова, являются события, ставящие под угрозу критические функции безопасности, такие как отвод остаточного тепловыделения, запас теплоносителя первого контура или герметичность и контроль реактивности. Отсюда можно сделать заключение, что конечным состоянием аварийных последовательностей в рамках ВОБ уровня 1 для режимов низкой мощности и останова могут являться не только повреждения активной зоны реактора как в режимах номинальной мощности, но также и состояния, связанные с повреждением топлива за пределами корпуса реактора; такие состояния зачастую называют состояниями повреждения топлива и событиями с возникновением критичности. Необходимо определить, какие из этих состояний необходимо включить в анализ. Данное решение должно быть основано на национальных целевых параметрах риска. Характеристики таких состояний весьма специфичны для различных типов реакторов и поэтому не могут рассматриваться здесь более подробно. В большинстве случаев в рамках ВОБ уровня 1 для режимов низкой мощности и останова рассматриваются следующие события:

- a) повреждение топлива при перегрузочных работах;
- b) повреждение топлива по причине падения тяжелых грузов;
- c) критичность в связи с изменениями в конфигурации топлива (в бассейне выдержки или в корпусе реактора);
- d) утрата функции охлаждения в бассейне выдержки.

9.13. Особое внимание следует уделять четкому выявлению конечных состояний, представляющих интерес. Для пополнения общего перечня, полученного в соответствии с пунктом 9.11, для выявления конечных состояний следует применять систематические методы. Для выполнения данного задания используются следующие методы (см. пункты 5.13-5.23):

- a) систематические аналитические методы, такие как общие логические схемы, анализ режимов отказов и их последствий, и деревья отказов;
- b) систематическое изучение процедур на станции для изменения конфигурации системы теплоносителя реактора и процедур испытаний и технического обслуживания оборудования.

Конечные точки последовательностей могут отличаться от состояний повреждения активной зоны реактора.

9.14. Выявление потенциальных ошибок оператора при выполнении таких процедур нормальной эксплуатации станции является одной из ключевых задач данного процесса, и в ней также следует предусмотреть обходы станции с целью ознакомления специалистов по ВОБ с рабочими методиками, используемыми на станции.

9.15. Для обеспечения надлежащей завершенности перечня исходных событий при ВОБ уровня 1 для режимов низкой мощности и останова, помимо данного перечня для режимов номинальной мощности следует рассмотреть перечисленные ниже источники информации:

- a) ВОБ уровня 1 для режимов работы на низкой мощности и останова, полученные от других аналогичных станций;
- b) история эксплуатации станции;
- c) опыт работы на аналогичных станциях;
- d) общие данные по эксплуатации в режимах низкой мощности и останова.

Некоторыми общедоступными источниками такой информации являются:

- a) общие исследования (например, информация по событиям, связанным с разбавлением бора дистиллятом, вызванным непреднамеренной перекачкой воды, не содержащей бора, через активную зону реактора);
- b) доклады лицензиата о событиях;
- c) доклады о событиях международных организаций и групп владельцев АЭС.

9.16. Исходные события следует должным образом группировать (см. пункты 5.32-5.39). В группы исходных событий следует включать исходные события, которые могут быть проанализированы с использованием одной и той же модели дерева событий и дерева отказов. Иными словами, одни и те же аварийные последовательности применимы для всех исходных событий в группе. В общем,

представленные ниже критерии формируют основу группирования исходных событий:

- a) все исходные события в группе имеют аналогичное влияние на работоспособность и эксплуатацию систем безопасности и вспомогательных систем;
- b) все исходные события в группе имеют аналогичные критерии успеха для систем безопасности, вспомогательных систем и прочих систем, необходимых для принятия действий по смягчению события;
- c) во всех исходных событиях в группе к оператору предъявляются схожие требования;
- d) ожидаемые действия, предпринимаемые операторами, схожи для всех исходных событий в группе;
- e) присвоение состояний повреждения станции конечным точкам последовательностей одинаково для всех исходных событий в группе.

Исходное событие, очевидно, может произойти в различных эксплуатационных состояниях станции (см. Приложение III (1)), но поскольку готовность систем и критерии успеха, как правило, отличаются в зависимости от различных эксплуатационных состояний станции, группирование по эксплуатационным состояниям станции во многих случаях невозможно.

9.17. В некоторых случаях группы исходных событий могут включать события, которые не удовлетворяют полностью критериям, перечисленным в пункте 9.16. В таких случаях характеристику группы следует определять на основе наиболее ограничивающих событий в группе (см. пункт 5.35).

9.18. Как и в случае с ВОБ для режимов номинальной мощности, при количественном определении частот возникновения исходных событий следует придерживаться стандартных методик ВОБ уровня 1, изложенных в пунктах 5.128-5.132. Однако при количественном определении частот возникновения исходных событий для режимов низкой мощности и останова следует учитывать некоторые специфические особенности станции, такие как конфигурация и готовность оборудования, технические спецификации и управление остановами, в том числе операции по перегрузке топлива.

9.19. При ВОБ уровня 1 для режима останова частота возникновения исходных событий может быть представлена в параметрах ожидаемого числа случаев возникновения данного события за час в конкретном эксплуатационном режиме станции. Однако частоты не следует представлять таким образом, если исходное событие произошло в связи с событиями, связанными скорее с возникновением

эксплуатационного режима станции, а не с его продолжительностью (например, некоторые исходные события могут быть связаны с работами при испытаниях или переходных режимах, и частоты возникновения таких событий не будут возрастать пропорционально продолжительности эксплуатационного режима станции).

9.20. В основном существует три подхода к количественному определению частот исходных событий, возникающих в определенном режиме эксплуатации конкретной станции (см. пункты 5.128-5.132):

- 1) прямая оценка, базирующаяся на эксплуатационном опыте (проводится анализ конкретной станции и других станций аналогичной конструкции, или общего типа реакторов);
- 2) оценка, базирующаяся на частоте возникновения исходных событий, определенных в ВОБ уровня 1 для режимов работы на номинальной мощности, с выполнением дополнительного анализа;
- 3) использование логической модели, включающей все прогнозируемые факторы, приводящие к возникновению исходного события.

Для корректного учета зависимостей между ошибкой, которая в конечном итоге приводит к возникновению исходного события (например, ошибкой, приводящей к утрате функции отвода остаточного тепловыделения) и ошибкой, допущенной при реагировании на данное событие (например, неспособности восстановления функции отвода остаточного тепловыделения), следует четко моделировать ошибки, приводящие к возникновению исходного события.

9.21. Общие результаты соотнесения исходных событий с эксплуатационными состояниями станции следует представлять в виде таблицы или другом обзорном формате. Пример представления результатов приведен в Приложении III.

АНАЛИЗ АВАРИЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

Функции безопасности, системы безопасности и критерии успеха

9.22. Рекомендации по общему подходу к анализу аварийных последовательностей представлены в пунктах 5.40-5.68. Хотя уровни остаточного тепловыделения в режиме останова, как правило, значительно ниже, чем непосредственно после останова в режиме номинальной мощности, характеристика возможных конфигураций станции может явиться причиной

возникновения событий, влияющих на работу функций безопасности. При анализе следует учитывать изложенные ниже аспекты:

- а) в связи с отключением автоматического срабатывания систем безопасности в состоянии останова готовность оборудования систем безопасности может быть снижена, а зависимость от действий оператора – повышена;
- б) может быть поставлена под угрозу герметичность системы первого контура и защитной оболочки;
- с) работоспособность передовой системы будет в целом зависеть от конкретного исходного события, характеристики эксплуатационного состояния станции и уровня остаточного тепловыделения.

9.23. Для указания критериев успеха для различных систем, которые могут отличаться от критериев успеха для ВОБ уровня 1 в отношении условий работы на номинальной мощности, следует использовать функциональные критерии.

Анализ в поддержку задания критериев успеха

9.24. Следует надлежащим образом пересматривать модели деревьев отказов, разработанных при ВОБ уровня 1 для условий работы на номинальной мощности. Даже если логика и отклик системы в основном остаются такими же, как и на номинальной мощности, следует учитывать возможные изменения условной готовности элементов или систем.

9.25. Для обеспечения корректности предположений относительно охлаждения активной зоны реактора следует выполнить термогидравлические расчеты с целью определения реалистичных критериев успеха. Уровень детализации термогидравлического анализа должен соответствовать требованиям анализа системам и конфигурации первого контура. Для переходных эксплуатационных состояний (при останове и пуске), а также в условиях горячего останова, конфигурация и условия работы первого контура в некоторых случаях схожи с конфигурацией и условиями работы в переходных режимах, инициированных в режиме номинальной мощности, и в этом случае применимы модели, используемые для выполнения термогидравлических расчетов для режимов номинальной мощности (например, RELAP, TRAC, MAAP, MELCOR). В других случаях необходимо обосновывать применимость. Для других эксплуатационных состояний станции следует провести сравнение характеристик первого контура с возможностями данной модели с целью оценки применимости конкретного кода. Например, для легководных реакторов

при проведении термогидравлического анализа в поддержку задания критериев успеха следует учитывать, по меньшей мере, указанные ниже факторы:

- a) состояние границы давления в первом контуре;
- b) демонтаж или ослабление крепления крышки корпуса реактора;
- c) демонтаж предохранительного клапана или открытие воздушника первого контура;
- d) изоляция петель или установка перемычек;
- e) уровень воды в парогенераторах;
- f) параметры первого контура (температура, давление, наличие неконденсирующегося газа, запас устойчивости);
- g) уровень воды в первом контуре;
- h) уровень остаточного тепловыделения;
- i) состояние герметичности защитной оболочки.

Моделирование аварийных последовательностей

9.26. Для моделирования поведения станции и действий эксплуатационного персонала в случае возникновения исходных событий следует использовать деревья событий (см. пункты 5.57-5.61), либо аналогичные форматы представления. Надлежащей практикой считается составление подробных схем развития событий, включающих взаимодействия персонала, перед моделированием аварийных последовательностей.

9.27. Моделирование аварийных последовательностей следует выполнять в рамках многофункциональной группы, в состав которой с начала процесса выполнения анализа должны входить специалисты по анализу надежности оператора.

Конечные точки аварийных последовательностей и состояния повреждения станции

9.28. Так же, как и в случае режима номинальной мощности, аварийные последовательности следует группировать по состояниям повреждения станции с целью сокращения числа возможных различных итогов ВОБ уровня 1 до управляемого количества, позволяющего проводить последующий анализ (ВОБ уровня 2 или ВОБ уровня 3), и для компактного представления результатов анализа. Ожидаемое развитие аварии (за рамками повреждения активной зоны реактора), включая угрозы нарушения герметичности защитной оболочки и перенос радиоизотопов, для всех аварийных последовательностей, сгруппированных в рамках конкретного состояния повреждения станции,

должно быть аналогичным в качественном отношении. С другой стороны, имеются современные инструментальные средства анализа, при помощи которых можно проводить моделирование аварийных последовательностей вплоть до категорий выбросов. Такие методики не требуют подобного группирования состояний повреждения станции для ВОБ уровня 1. Для систем безопасности следует задавать необходимые сроки проведения мероприятий (см. пункт 5.49) с учетом специфических особенностей и временных параметров процессов.

9.29. В процессе выбора состояний повреждения станции при ВОБ уровня 1 для режимов низкой мощности и останова следует учитывать состояния повреждения станции, указанные для ВОБ уровня 1 для режима номинальной мощности. Однако при ВОБ уровня 1 для режимов низкой мощности и останова следует указывать дополнительные состояния повреждения станции, отличные от тех, которые рассматриваются в рамках ВОБ уровня 1 для режимов номинальной мощности. Например, дополнительные состояния повреждения станции могут быть необходимы для условий, присущих некоторым режимам останова станции, таких как режимы со снятой крышкой корпуса реактора или открытым транспортным шлюзом защитной оболочки.

При определении состояний повреждения станции следует учитывать указанные ниже дополнительные характеристики аварийных последовательностей:

- a) уровень остаточного тепловыделения в эксплуатационном состоянии станции (время с момента отключения режима работы на номинальной мощности);
- b) состояние защитной оболочки – особенно для эксплуатационных состояний станции, когда открыта защитная оболочка;
- c) состояния, определяющие время восстановления герметичности защитной оболочки и потенциально сниженную эффективность (отсутствие утечек) защитной оболочки в этот период;
- d) целостность границы давления в системах первого контура при снятой крышке корпуса реактора, установленными перемычками, снятыми предохранительными клапанами и открытым воздушником системы первого контура;
- e) запас воды в первом контуре.

9.30. Соответствующая характеристика состояния повреждения станции будет играть решающую роль для результатов и их трактовки.

АНАЛИЗ СИСТЕМ

9.31. Что касается ВОБ уровня 1 для условий работы на номинальной мощности, то целью проведения анализа систем при ВОБ уровня 1 для режимов низкой мощности и останова является проведение подробного моделирования системных отказов в целях квантификации аварийных последовательностей. Анализ дерева схемы отказов является наиболее широко используемым методом моделирования систем. Древовидные модели отказов, созданные для эмуляции условий работы на номинальной мощности (см. пункты 5.69-5.91), могут применяться и адаптироваться по мере их востребованности и применяемости. Однако, при необходимости, данные модели следует пересматривать, или может возникать необходимость в разработке новых моделей, особенно в следующих ситуациях:

- a) имеющиеся модели систем не подходят для описания поведения конкретной системы в различных эксплуатационных состояниях станции, например, для системы может быть предусмотрена другая конфигурация с целью обеспечения проведения технического обслуживания;
- b) конкретная система, пребывающая в режиме ожидания во время работы на номинальной мощности, находится в работе при останове;
- c) срабатывание системы при останове происходит в ручном режиме, в то время как в режиме работы на номинальной мощности срабатывание происходило автоматически;
- d) необходимое время выполнения мероприятия, заданное для систем, может значительно различаться;
- e) критерии успеха изменяются для различных режимов эксплуатации станции;
- f) количество изначально предусмотренных ниток разное для каждого эксплуатационного состояния станции;
- g) временные «окна» и условия эксплуатации станции существенно различаются, что может повлиять на вероятность успеха восстановительных мероприятий;
- h) конкретная система не моделировалась, поскольку в этом не было необходимости для условий работы на номинальной мощности;
- i) необходимым условием установления конфигурации для функции безопасности, которая используется только лишь в режимах низкой мощности и останова, является соединение между конкретными системами, например, использование системы охлаждения бассейна выдержки для охлаждения активной зоны реактора; следует учитывать процедуру данного соединения;

- j) конкретная система не моделировалась, поскольку в это необходимо только при ВОБ уровня 2 для условий работы на номинальной мощности.

Примеры конкретных требований по моделированию систем представлены в Приложении III.

АНАЛИЗ ЗАВИСИМЫХ ОТКАЗОВ

9.32. В соответствии с описанием в пунктах 5.86-5.91 для состояний работы на номинальной мощности, целью данной задачи является определение зависимостей, которые могут повлиять на логику и квантификацию аварийных последовательностей и моделей систем. В этой связи основными видами зависимости являются функциональная зависимость от систем энергоснабжения и вспомогательных систем; совместное использование аппаратных средств системами или взаимодействие процессов; физическая зависимость, а также зависимости, прямой или косвенной причиной которых явились исходные события; зависимости от взаимодействия персонала и отказов по общей причине. Эти зависимости следует включать в анализ.

9.33. Используя в качестве отправной точки условия эксплуатации на номинальной мощности, следует рассматривать и проверять на предмет их применимости для конкретных режимов эксплуатации станции различные вспомогательные и передовые системы, а также их взаимозависимости. Группа по проведению анализа должна быть проинформирована, что испытания и профилактические мероприятия могут создавать новые источники зависимостей, такие как совпадающие по времени ремонты и техническое обслуживание резервных элементов. Соответствующие примеры представлены в Приложении III.

9.34. По мере необходимости модели зависимости для условий работы на номинальной мощности следует пересматривать, особенно если различаются критерии успеха для условий работы на низкой мощности и при останове или отличаются условия для вспомогательных систем, например, требования к вентиляционным системам и системам энергоснабжения. Следует также рассматривать согласованность проведения остановов систем и их элементов.

9.35. Аналитик должен быть проинформирован о различных механизмах отказов по общей причине и возможном влиянии технического обслуживания и прочих работ, характерных для условий останова, на их возникновение.

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ОПЕРАТОРА

9.36. В пунктах 5.96-5.113 разъяснены ключевые аспекты анализа надежности оператора; данные аспекты в значительной мере также актуальны для условий работы на низкой мощности и останова. Анализ взаимодействия персонала при остановке представляется сложным. Поэтому анализ надежности оператора следует выполнять структурно и логически. Что касается прочих заданий в рамках проводимого анализа, то процесс выполнения анализа надежности оператора следует тщательно документировать с возможностью его контроля. Анализ надежности оператора должен быть нацелен на определение вероятностей отказов, которые согласованы между собой, а также с анализом, выполненным в рамках других разделов ВОБ уровня 1.

9.37. В соответствии с пунктом 5.107, при анализе необходимо надлежащим образом учитывать типовые аспекты условий работы на низкой мощности и останова, такие как широкое использование ресурсов сторонних организаций для проведения технического обслуживания, частая сверхурочная работа и повышенная потребность работы в блочных щитах управления. Также необходимо учитывать трудности при осуществлении контроля за выполнением работы, а также интенсивность работы, вызванную жесткими графиками.

9.38. При проведении анализа надежности оператора следует обеспечивать тесное взаимодействие с эксплуатационным и обслуживающим персоналом станции, с тем чтобы надлежащим образом отразить в анализе конструктивные и эксплуатационные особенности станции в условиях работы на низкой мощности и останова. Если это невозможно, например, если станция находится на этапе проектирования или изготовления, то аналитику следует попытаться воспользоваться знаниями на основе практического опыта аналогичных находящихся в эксплуатации станций.

Взаимодействия по типу А – действия персонала до возникновения исходных событий

9.39. Взаимодействия по типу А (см. пункт 5.102) включают действия, связанные с проведением испытаний, технического обслуживания, ремонта или калибровки, которые, при их ненадлежащем выполнении, могут приводить к неготовности оборудования. Процесс идентификации и качественного определения взаимодействий по типу А аналогичен процессу при ВОБ уровня 1 для условий работы на номинальной мощности, но в нем следует учитывать конкретные особенности условий работы на низкой мощности и останова, в особенности:

- а) функциональные испытания, проводимые в конце периода останова, могут быть сопряжены с жесткими временными ограничениями, и, следовательно, могут с большой вероятностью приводить к ошибкам персонала;
- б) неполная готовность функций автоматической переустановки (например, отсутствие сигнала по автоматическому закрытию задвижки, которая может быть оставлена открытой после проведения испытания).

Взаимодействия по типу В – действия персонала, которые могут приводить к возникновению исходного события

9.40. Ввиду большого разнообразия различных мер по техническому обслуживанию, испытаний и изменений конфигурации, нельзя ожидать, что в опыте эксплуатации, связанном с частотами возникновения исходных событий (например, слива воды вследствие неправильной регулировки задвижки), характерных для условий работы на низкой мощности и останова, будут отслежены все возможные ошибки оператора. Поэтому следует оценивать в явной форме возможность того, что ошибка оператора может способствовать возникновению исходных событий. (Это также важно для рассмотрения зависимости от ответных действий (действия по типу С) в соответствии с описанием в пункте 9.45). Данная оценка может явиться результатом определения ошибок оператора, приводящих к неготовности элементов либо сразу же, либо в форме скрытых дефектов в случае потребности, смоделированной в древовидной схеме возникновения исходного события. Для проведения анализа могут использоваться следующие источники информации:

- а) письменные процедуры запуска и останова;
- б) опыт эксплуатации;
- с) документация по планированию остановов, в том числе технические спецификации и процедуры испытаний и технического обслуживания.

При анализе взаимодействий по типу В может потребоваться скрининг с целью принятия решения о том, какие отказы подлежат отсеvu на основании качественной оценки, а какие – количественной оценке или даже детальному анализу, если в этом есть необходимость. Возможный подход изложен в Приложении III. Вывод вероятностей ошибок оператора может быть сделан в соответствии с пунктами 5.107-5.111.

Взаимодействия по типу С – действия персонала после возникновения исходного события

9.41. Взаимодействия персонала по типу С (см. пункт 5.105) особенно важны при останове ввиду сниженного уровня работы автоматики на станции. Они, как правило, являются важными факторами, вносящими вклад в частоту возникновения повреждения активной зоны согласно многим исследованиям, проведенным в рамках ВОБ уровня 1 для условий работы на низкой мощности и останова. Поэтому реалистичной оценке вероятности возникновения отказов в результате данных взаимодействий следует уделять большое внимание.

9.42. В выбранной методологии следует учитывать конкретные аспекты, актуальные для систематического моделирования и квантификации действий по типу С в рамках ВОБ уровня 1 для условий работы на низкой мощности и останова. Некоторые аспекты могут отличаться от сценария работы на номинальной мощности, например:

- a) более частое срабатывание сигнализации и состояние постоянной повышенной готовности;
- b) качество методических руководящих материалов;
- c) состояние подготовки операторов;
- d) продолжительность появления временных окон для принятия ответных действий;
- e) качество интерфейсов, облегчающих действия персонала в режимах низкой мощности и останова.

9.43. Следует стремиться к тому, чтобы значения, генерируемые при использовании соотношения между временем и надежностью и характерные для работы на номинальной мощности, не принимались без критики, поскольку временные окна в состояниях останова могут находиться далеко за допустимыми пределами таких соотношений.

9.44. Вероятность возникновения ошибок при выявлении причин возникновения исходных событий следует рассматривать с особой тщательностью, когда предполагается использовать процедуры, основанные на исходных событиях.

9.45. Так же, как и при ВОБ уровня 1 для условий работы на номинальной мощности, следует учитывать зависимости между взаимодействием персонала при рассмотрении одинаковых аварийных последовательностей (см. пункты 5.112 и 5.113). Однако в модели ВОБ для режимов низкой мощности и останова

особенно важно учитывать зависимости между взаимодействиями по типу В и типу С. Если такое исходное событие, как отсутствие отвода остаточного тепловыделения, вызвано ошибкой оператора, то обстоятельства, которые принудили оператора сделать ошибку, с большой вероятностью усложняют процесс восстановления функции отвода остаточного тепловыделения и могут привести к еще большей вероятности возникновения отказа, чем утрата данной функции в результате механического отказа.

ОЦЕНКА ДАННЫХ

9.46. Данные, необходимые для квантификации ВОБ уровня 1 для режимов низкой мощности и останова, включают в себя следующее:

- a) частоты возникновения исходных событий;
- b) данные, относящиеся к вероятности ошибок оператора;
- c) продолжительность эксплуатационных состояний станции;
- d) допустимые времена простоя;
- e) данные о надежности элементов;
- f) неготовность в связи с техническим обслуживанием, включая перекрывающееся техническое обслуживание на основе истории эксплуатации;
- g) оценку отказов по общей причине;
- h) другие необходимые данные.

Основные требуемые данные и подходы к сбору данных, описанные в разделе 5, применимы также к режимам низкой мощности и останова. Рекомендации по оценке данных, особенно для проведения анализа зависимых отказов, надежности оператора и частот возникновения исходных событий, уже были представлены в данном разделе наряду с соответствующими методическими принципами.

9.47. Данные для квантификации параметров надежности элементов оборудования, характерные для условий останова, менее широко доступны, чем для условий работы на номинальной мощности. Поэтому широко применяется метод адаптации данных, используемых при работе на номинальной мощности. Этого не следует делать без прозрачного обоснования в отношении применимости этих данных.

9.48. Значительная часть испытаний в ходе проведения запланированных остановов используется для проверки функции элементов оборудования, по

которому ранее проводилось техническое обслуживание, т.е. такие испытания являются функциональными испытаниями перед тем, как оборудования будет вновь введено в эксплуатацию. Определение неготовности следует связывать со средней продолжительностью испытаний, а также с продолжительностью эксплуатационного состояния станции, в течение которого проводятся испытания по данному элементу.

9.49. Следует провести оценку возможных взаимодействий персонала и вероятности ошибок оператора при выполнении переналадок в результате проведения работ по испытаниям и техническому обслуживанию.

9.50. Следует рассмотреть возможность проведения ремонта, поскольку он может значительно повысить готовность систем безопасности в режимах эксплуатации станции для условий работы на низкой мощности и останова. Отсутствие ремонта может в большинстве случаев приводить к переоценке риска, особенно в сценариях после возникновения исходных событий, обосновывая при анализе вероятность признания возможности проведения конкретного ремонта, который улучшит реалистичное представление ситуации. Под термином «ремонт» в данном случае подразумеваются случаи краткосрочного восстановления, достаточного для удовлетворения потребностей рассматриваемых аварийных последовательностей. Однако он должен быть ограничен случаями, в которых опыт эксплуатации станции демонстрирует, что имеются хорошие возможности для восстановления, или вероятность успеха может быть поддержана инженерной оценкой и/или установленными процедурами ремонта, действующими в рамках условий аварийной последовательности.

9.51. Следует учитывать зависимость продолжительности ремонта от эксплуатационного состояния станции. Такие зависимости могут возникать в связи с доступностью систем и оборудования, готовностью персонала к выполнению ремонтных операций, наличием запасных частей и, для некоторых аварийных последовательностей, уровнем радиации на месте ремонта элемента.

9.52. Группа аналитиков, выполняющая ВОБ уровня 1 для режимов низкой мощности и останова, должна быть проинформирована о том, что элементы, находящиеся в резерве при работе на номинальном уровне мощности, могут находиться в работе в период останова. Если правила эксплуатации на случай останова предусматривают циклическое использование резервных элементов оборудования или ниток, то следует выбрать соответствующую модель надежности.

9.53. Заданные времена выполнения задач указаны в моделях, которые используются для расчета вероятности отказа последующего функционирования рабочего оборудования, используемого для поддержания или достижения стабильного состояния после возникновения исходного события. Заданные времена выполнения задач могут оказывать серьезное влияние на расчетные вероятности отказа системы. Предположения в отношении заданных времен выполнения задачи следует согласовывать с моделированием аварийных последовательностей.

9.54. При необходимости включения в анализ прогнозируемых изменений, содержащихся в процедурах проведения остановов, могут возникнуть последствия для сбора данных. Изменения могут быть таковыми, что доступная информация по эксплуатационному опыту либо не может предоставить необходимые данные, либо может предоставить необходимые данные только после адаптации в результате анализа или инженерной оценки.

9.55. В отношении параметров, используемых в ВОБ уровня 1, следует провести не только точечную оценку, но и получить полное распределение неопределенностей, поскольку они необходимы для проведения анализа неопределенностей.

КВАНТИФИКАЦИЯ АВАРИЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

9.56. При ВОБ уровня 1 для режимов низкой мощности и останова в принципе следует проводить квантификацию аварийных последовательностей с использованием тех же методик, что и при ВОБ уровня 1 для условий работы на номинальной мощности. Необходимо, однако, отметить, что в ВОБ уровня 1 для условий останова, для которых часто устанавливается более продолжительное время выполнения заданий или восстановления, использование методов Маркова вместо стандартной древовидной схемы отказов и методов оценки с использованием дерева событий потенциально позволяет получать более реалистичные результаты. Однако использование таких методов для довольно сложных систем может оказаться громоздким. В настоящее время разрабатывается применение методов Маркова для ВОБ атомных электростанций.

9.57. При рассмотрении результатов квантификации, так же, как и в случае ВОБ уровня 1 для условий работы на номинальной мощности, следует проводить подробное рассмотрение полученных минимальных сечений. При ВОБ уровня 1 для режимов низкой мощности и останова модели системы могут потребовать

изменения с целью представления условий различных режимов эксплуатации станции. При изменении моделей системы следует проводить перекрестную проверку для минимальных сечений, полученных для аналогичных аварийных последовательностей или систем в различных режимах эксплуатации станции, с тем чтобы обеспечить, что любые различия в них на самом деле отражают различные эксплуатационные состояния станции или характеристики последовательностей, и не возникают в результате ошибок моделирования.

АНАЛИЗ ЗНАЧИМОСТИ, ИССЛЕДОВАНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ

9.58. Для анализа неопределенностей следует использовать ту же методику, что и при ВОБ уровня 1 для условий работы на номинальной мощности (см. пункты 5.159 и 5.160).

9.59. Анализ значимости и исследования чувствительности следует проводить с использованием тех же методик, что и при ВОБ уровня 1 для условий работы на номинальной мощности (см. пункты 5.154-5.158 и пункт 10.19).

9.60. Исследования чувствительности являются важной частью анализа при ВОБ уровня 1 для режимов низкой мощности и останова; они направлены на проведение анализа возможного воздействия многих факторов, свойственных ВОБ для режимов низкой мощности и останова. Например, конкретные условия, которые были выбраны для определения характеристик определенного эксплуатационного состояния станции, могут представлять более широкий спектр условий, которые фактически могут иметь место в период этого эксплуатационного состояния станции. По сравнению с ВОБ для условий работы на номинальной мощности могут иметь место различные комбинации систем, находящихся в состоянии неготовности; некоторые комбинации могут быть результатом более консервативного анализа, а другие – результатом менее консервативного анализа. Эксплуатационное состояние станции может иметь большую или меньшую продолжительность. Время, отведенное для действий персонала, может сильно меняться в зависимости от момента времени эксплуатационного состояния станции относительно времени ее останова. Критерии успеха также могут сильно отличаться в зависимости от уровней остаточного тепловыделения. Эти изменения следует исследовать, особенно для случаев, когда предположения, используемые для моделирования эксплуатационного состояния станции, приводят к доминирующему вкладу в риск.

ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

9.61. В пунктах 9.61-9.71 представлены рекомендации по выполнению требования 20 относительно документирования при ВОБ уровня 1 для режимов низкой мощности и останова [3]. В структуре доклада по ВОБ уровня 1 следует предусматривать процедуры ВОБ уровня 1 для условий работы на номинальной мощности и, кроме того, следует добавить разделы с описанием тех аспектов, которые характерны для ВОБ уровня 1 для условий работы на низкой мощности и останова, такие как раздел с подробным описанием процесса, используемого для определения типов остановов, эксплуатационных состояний станции и исходных событий.

9.62. Результаты, полученные на каждом важном этапе анализа, как было обсуждено в предыдущих разделах, следует интегрировать и отображать наряду с важными инженерными заключениями, сформированными в результате анализа. В документацию следует включать оценки общих результатов и выводов, а также обсуждение неопределенностей.

9.63. Зачастую письменные процедуры технического обслуживания или эксплуатационные процедуры улучшаются или внедряются в качестве ответной меры на выводы по предварительному анализу. Это также следует отражать в документации.

9.64. И наконец, следует представлять и выносить на обсуждение более общие выводы и рекомендации. В документацию следует включать представленные ниже темы в той степени, в которой это необходимо для принятия решений:

- a) частота повреждения активной зоны — важные факторы, интегрированные по всем режимам эксплуатации станции:
 - i) вклад преобладающих аварийных последовательностей;
 - ii) вклад эксплуатационных состояний станции;
 - iii) вклад групп исходных событий;
 - iv) результаты анализа неопределенностей для частоты возникновения повреждения активной зоны;
 - v) результаты анализа значимости и исследований чувствительности в отношении частоты возникновения повреждения активной зоны;
- b) представление результатов по каждому эксплуатационному состоянию станции:
 - i) вклад преобладающих аварийных последовательностей;
 - ii) вклад групп исходных событий;

- с) представление взаимодействия с ВОБ уровня 2 (при необходимости), с указанием характеристик и частот возникновения состояний повреждения станции;
- д) качественные знания и выводы:
 - i) толкование результатов и инженерных заключений;
 - ii) выводы и рекомендации.

9.65. Инженерные заключения и рекомендации следует представлять таким образом, чтобы они содержали четкую исходную информацию для процесса принятия решений.

9.66. Может оказаться полезным создание профиля риска для типового графика проведения останова, особенно останова для перегрузки топлива. Такой профиль может, например, показывать частоту возникновения повреждения активной зоны для различных эксплуатационных состояний станции в зависимости от времени простоя или времени после начала снижения мощности. В Приложении III представлен соответствующий пример.

9.67. В доклад следует включать приведенную ниже детальную информацию из ВОБ уровня 1 для условий работы на низкой мощности и останова:

- а) значительные минимальные сечения, вносящие вклад в суммарную частоту повреждения активной зоны;
- б) значительные минимальные сечения, вносящие вклад в частоту повреждения активной зоны по каждому эксплуатационному состоянию станции.

Уровень значимости минимальных сечений следует определять, исходя из целей ВОБ.

9.68. В документацию следует включать приведенные ниже сведения:

- а) вклад ошибок оператора и зависимых отказов в частоту повреждения активной зоны;
- б) вклад независимых отказов в частоту повреждения активной зоны;
- с) воздействие различных функций безопасности, смоделированных в древовидных схемах событий, на частоту повреждения активной зоны.

9.69. Помимо частоты повреждения активной зоны, другие конечные состояния, связанные с критичностью или повреждением бассейна выдержки,

и частоты их возникновения следует подвергать оценке с документированием результатов (см. пункты 9.12, 9.13 и 9.19).

9.70. Модель станции и полученные данные следует тщательно документировать и конфигурировать в базах данных и компьютерных файлах с целью обеспечения возможности воспроизводства результатов и получения готовых моделей для использования в применениях.

9.71. Оформление документации следует производить в соответствии с требованиями нормативного контроля.

10. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЯ ВОБ

СФЕРА ОХВАТА ВОБ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЙ

10.1. В публикации категории Требований безопасности, посвященной оценке безопасности установок и деятельности (см [3]) указывается, требуется чтобы оценка безопасности включала полномасштабную ВОБ для оценки и анализа угроз безопасности при различных условиях эксплуатации, ожидаемых при эксплуатации событиях и аварийных условиях. Полнота ВОБ (которая включает исчерпывающий набор внутренних исходных событий, внутренних опасностей и природных и антропогенных опасностей и охватывает все режимы эксплуатации станции, включая пуск, эксплуатацию на мощности, на низкой мощности и все режимы, возникающие во время останова и перегрузки топлива) обеспечит, что вся информация в ВОБ, касающаяся значимости с точки зрения риска аварийных последовательностей, конструкций, систем и элементов, ошибок оператора, отказов по общей причине и т.п., получена с помощью полноценной, комплексной модели станции. В настоящем разделе представлены рекомендации по выполнению требования 23 в [3] относительно использования ВОБ уровня 1. ВОБ уровня 1 следует использовать для поддержки применений. Признается, что во многих случаях следует включать в рассмотрение результаты и информацию, полученные при ВОБ уровня 2³¹.

³¹ Необходимо учитывать, что в настоящем разделе особое внимание уделяется ВОБ уровня 1. Однако следует отметить, что будет также необходима информация, полученная при ВОБ уровня 2 или даже уровня 3.

10.2. Во многих случаях сфера охвата ВОБ, необходимая для поддержки определенного применения, может отличаться от полномасштабной, описанной выше. В любом случае, если информация по рискам получена из ВОБ, имеющей меньшую сферу охвата, чем требует применение, то этот факт следует учитывать при применении информации из ВОБ.

10.3. ВОБ, используемую для любого применения, следует поддерживать как текущую ВОБ, регулярно обновляемую с целью отражения текущей конструкции и работы станции и текущего анализа переходных режимов, и полностью документированную таким образом, чтобы анализ можно было проследивать вплоть до деталей проекта и вспомогательного анализа.

10.4. При получении информации о рисках с помощью ВОБ аналитику следует стремиться понимать относительную важность вкладов различных типов исходных событий аварии (внутренних исходных событий, внутренних пожаров, внутренних затоплений, землетрясений и т.п.) в результаты ВОБ. В частности, аналитику следует понимать, что даже в случае, если модели ВОБ для различных типов исходных событий аварии объединяются в одну большую модель ВОБ, анализ различных типов будет проводиться различными способами, и это в результате приведет к различающимся уровням детализации и степеням консерватизма. Например, при анализе риска пожара обычно используют подход с последовательным отсечением и скринингом, с тем чтобы уровень детализации при анализе конкретной зоны пожара являлся функцией определения того, является ли достаточно низким риск частоты повреждения активной зоны при использовании выбранного критерия скрининга. Это делается во избежание необоснованного расходования ресурсов на детальное моделирование пожара или трассирование кабелей. Такие различные уровни детализации могут приводить к неверной информации. Это особенно касается применений ВОБ, которые основываются на оценке важности мер, и для применений типа монитора рисков.

10.5. В случае если ВОБ предназначена для использования в качестве представительной ВОБ для более чем одного однотипного энергоблока на площадке, следует выявлять влияние различий между конкретным энергоблоком и представительной моделью и проводить оценку влияния на результаты ВОБ.

РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД

10.6. В любых применениях ВОБ, описанных ниже, информацию из ВОБ следует использовать в качестве части процесса принятия риск-информированных решений, в которых учитываются:

- а) любые обязательные требования, относящиеся к рассматриваемому применению ВОБ (которые обычно включают любые юридические требования или нормы, требующие соблюдения);
- б) информация, полученная в результате детерминистического анализа безопасности (например, соблюдается ли требование о глубокоэшелонированной защите, имеются ли соответствующие запасы безопасности и соблюдаются ли требования нижнего уровня, такие как обеспечение достаточных уровней дублирования и разнообразия систем безопасности, выполняющих функции безопасности, и аттестовано ли оборудование на станции на таком уровне, чтобы противостоять агрессивной среде, возникающей после исходных событий);
- с) любые другие наработки или информация (которые могут включать анализ затрат и результатов и данные об остаточном ресурсе станции, результаты инспекций, опыт эксплуатации, дозы работников, связанные с внесением необходимых изменений в технические средства станции, и т.д.).

10.7. Целью применения риск-ориентированного подхода является обеспечение применения сбалансированного подхода в отношении любых решений, принимаемых в любом из применений ВОБ, которые учитывают все важные факторы. Применения ВОБ, рассмотренные в настоящем разделе, не охватывают все возможные применения ВОБ³².

³² Примерами публикаций, содержащих дополнительную информацию о применении ВОБ, являются IAEA-TECDOC-1200 «Applications of Probabilistic Safety Assessment (PSA) for Nuclear Power Plants» (Применение вероятностной оценки безопасности (ВОБ) для АЭС) [14] и IAEA-TECDOC-1511 «Determining the Quality of Probabilistic Safety Assessment (PSA) for Applications in Nuclear Power Plants» (Определение качества вероятностной оценки безопасности (ВОБ) для применений на АЭС) [15].

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОБ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОЕКТА

Использование ВОБ на протяжении жизненного цикла станции

10.8. ВОБ следует использовать для получения входных данных при оценке проекта в течение всего жизненного цикла станции. ВОБ следует:

- а) использовать на этапе концепции для получения информации о том, отвечают ли требованиям проект систем безопасности, вспомогательных систем и компоновка станции;
- б) обновлять на протяжении этапов детального проектирования и сооружения с целью учета новой информации, относящейся к проектированию и анализу безопасности, по мере ее поступления;
- в) осуществлять в качестве текущей ВОБ для эксплуатируемой станции и использовать в качестве одного из источников входных данных для решения вопросов, касающихся эксплуатации, периодических рассмотрений безопасности и продления ресурса станции, и для предоставления информации о том, отвечают ли требованиям предлагаемые проектные модификации и эксплуатационные изменения.

10.9. Одну и ту же ВОБ следует использовать на протяжении всего жизненного цикла станции, причем сфера охвата, уровне детализации и точность ВОБ должны возрасти по мере развития проекта и проведения дополнительного анализа в поддержку предположений моделирования в ВОБ и по мере поступления данных об опыте эксплуатации станции. Результаты ВОБ следует использовать для выявления слабых мест в проекте и эксплуатации и для оценки и ранжирования вариантов улучшения проекта или эксплуатации.

10.10. Результаты ВОБ следует использовать для получения данных о конструкции и эксплуатации систем безопасности и систем, связанных с безопасностью, с целью предотвращения повреждения активной зоны. Такое использование результатов ВОБ должно включать сравнение с общими критериями риска и целями, в которых они указаны.

Выявление уязвимостей станции

10.11. Для получения максимальных полезных результатов, ВОБ, используемая для оценки проекта, должна быть полномасштабной, как указано выше (раздел 10.1). Тем самым будет обеспечено, что посредством ВОБ охватывается широкий спектр вопросов проектирования и эксплуатации станции. Сфера охвата ВОБ связана главным образом с диапазоном исходных

событий и внешних и внутренних опасностей, включенных в ВОБ, а также с диапазоном режимов эксплуатации станции, рассматриваемых при ВОБ.

10.12. Подробную количественную информацию (такая как частоты групп исходных событий и частоты сечений, значения важности для основных событий) и количественную информацию, получаемую с помощью ВОБ, следует использовать для получения более детальных данных для оценки проекта, т.е. с целью выявления уязвимостей, связанных с повреждением активной зоны.

Сравнение с критериями и целевыми показателями риска

10.13. Общие результаты ВОБ уровня 1 (обычно частота повреждения активной зоны) следует сравнивать с критериями риска (если они определены) для определения того, обеспечат ли предлагаемый проект и эксплуатация станции достаточно низкий уровень риска. Целью должно быть определение того, выполняются ли критерии и/или целевые показатели риска, и получение широкого подтверждения того, достигнут ли соответствующий уровень безопасности для станции, то есть, были ли включены в проект и эксплуатацию станции надлежащие системы безопасности и аварийные процедуры с целью предотвращения повреждения активной зоны. Те же самые соображения применимы, в принципе, для результатов ВОБ уровня 2 и уровня 3.

10.14. Для концептуального проекта следует провести сравнение результатов ВОБ уровня 1 с критериями и/или целевыми показателями риска с целью проверки его соответствия требованиям, а также проверки того, что проект соответствует требованиям в различных точках этапов проектирования и этапов сооружения и эксплуатации.

10.15. При проведении сравнения следует учитывать результаты проведенных исследований чувствительности и анализа неопределенностей. Это покажет степень уверенности при соблюдении критерия и/или целевого показателя и вероятность того, что он будет превышен.

Использование сечений

10.16. Перечень сечений по модели ВОБ уровня 1 следует использовать для выявления относительно слабых мест в проекте и эксплуатации станции. Такое рассмотрение следует проводить для сечений, вносящих значительный вклад в частоту повреждения активной зоны (см. пункты 5.146 и 5.149), с целью выявления групп исходных событий и функций безопасности, которые

вносят наибольшие вклады в частоту повреждения активной зоны. Это также следует делать для сечений, содержащих основные события, имеющие высокие значения важности.

10.17. Вклады в частоту повреждения активной зоны и сечения для отдельных групп исходных событий следует использовать для определения того, является ли проект станции сбалансированным, и того, что никакая группа исходных событий и никакие аварийные последовательности не вносят чрезмерно большого вклада в частоту повреждения активной зоны. То же соображение применимо, в принципе, к результатам ВОБ уровня 2 и ВОБ уровня 3.

10.18. Перечни сечений следует использовать для определения того, имеются ли одноразрядные сечения, указывающие на то, что требование единичного отказа не выполняется ни для каких систем безопасности.

Использование показателей значимости

10.19. Показатели значимости для основных событий, групп основных событий, систем безопасности, групп исходных событий и т.д. следует рассчитывать и использовать для интерпретации результатов ВОБ. Показателями значимости, используемыми при ВОБ уровня 1, обычно являются:

- a) показатель значимости Fussell–Vesely³³;
- b) цена возрастания риска (также называемая коэффициентом возрастания риска) и цена снижения риска (также называемая коэффициентом снижения риска);
- c) показатель значимости Birnbaum.

10.20. Показатели значимости следует использовать для выявления компонентов и систем, вносящих весомый вклад в риск, и их следует тщательно рассматривать на уровне проектирования или при эксплуатации станции. Показатели значимости следует использовать для выявления тех областей проектирования или эксплуатации установки, в которых необходимо рассмотреть улучшения.

10.21. Высокий показатель значимости Fussell–Vesely или показатель значимости Birnbaum для события с независимым отказом может указывать на недостаточное резервирование системы в некоторых режимах эксплуатации

³³ Объяснение различных показателей значимости см. в сносках 13 по 16.

станции, и соответственно, необходимость улучшения. В таком случае следует либо повысить резервирование системы, либо следует сделать более строгими граничные условия эксплуатации системы для конкретного режима эксплуатации станции, если это возможно. Высокая цена возрастания риска для события с независимым отказом может указывать на то, что во избежание возрастания риска следует тщательно поддерживать уровень надежности оборудования. Вообще говоря, два аспекта, обеспечиваемых показателем значимости Fussell–Vesely или ценой снижения риска и ценой возрастания риска, следует использовать совместно.

10.22. Высокий показатель значимости Fussell-Vesely для отказа по общей причине может указывать на недостаточное разнообразие систем безопасности в отношении конкретной функции безопасности. В этом случае может потребоваться существенное изменение проектной основы.

10.23. Результаты ВОБ уровня 1 следует использовать для обеспечения подхода к определению следующего:

- a) имеют ли системы безопасности достаточные уровни разнообразия и резервирования;
- b) имеются ли достаточные уровни аттестации оборудования для конструкций, систем и элементов, работающих в жестких условиях при авариях;
- c) имеются ли достаточное разделение и изоляция зон на случай таких опасностей, как пожар и наводнение;
- d) оформление интерфейса «человек-машина» является достаточным для обеспечения того, что вероятность ошибки оператора сведена до достаточно низкого уровня.

Результаты ВОБ уровня 1 следует использовать для определения того, является ли проект сбалансированным, либо требуется внедрение дополнительных мер для снижения рисков.

10.24. При выявлении уязвимых мест на станции следует учитывать неопределенности, присущие результатам ВОБ уровня 1, и данные, полученные в ходе исследований чувствительности.

Сравнение проектных вариантов

10.25. При рассмотрении модификаций для атомной электростанции обычно имеется ряд доступных вариантов. ВОБ уровня 1 следует использовать для получения входных данных при сравнении вариантов. Способ выполнения этой задачи зависит от сложности рассматриваемой модификации, но может варьироваться от проведения пересмотра модели ВОБ уровня 1 с целью внедрения предлагаемой новой системы безопасности и до выполнения последующей обработки сечений с целью учета более простых изменений. ВОБ уровня 1 предоставляет входные данные для процесса интегрированного и риск-ориентированного принятия решений относительно выбора одного из вариантов.

Ограничения ВОБ уровня 1 для оценки проекта

10.26. В случае если ВОБ уровня 1 не является полномасштабной, как описано в настоящем руководстве по безопасности, например, если ВОБ не включает все исходные события и опасности, которые могут вносить вклад в частоту повреждения активной зоны, это следует принимать в расчет при использовании ВОБ уровня 1.

10.27. Кроме того, следует отметить, что существуют некоторые области, в которых модели и данные не очень хорошо проработаны. Например, на этапе проектирования могут иметь место значительные неопределенности, связанные с данными, моделями и опытом эксплуатации станции, особенно для новых концепций и оборудования, или с моделированием эффектов старения и/или культуры безопасности. Это следует учитывать при использовании результатов ВОБ уровня 1.

РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СПЕЦИФИКАЦИИ

10.28. В технических спецификациях станции задаются пределы и условия эксплуатации, техобслуживания и испытаний станции. Они представляют диапазоны параметров эксплуатации станции, которые являются безопасными и соответствуют предположениям, сделанным при анализе безопасности. Требования технических спецификаций традиционно основываются на детерминистических требованиях и инженерной оценке.

10.29. Граничные условия эксплуатации задают, например, требования в отношении работоспособности оборудования, допустимого времени простоя

и необходимых действий (например, требования в отношении испытаний резервного оборудования). Допустимое время простоя для определенной системы или элемента – это время, в течение которого должны быть завершены любое техобслуживание или ремонт. В случае превышения допустимого времени простоя в технических спецификациях указывается действия, которые следует выполнять операторам станции. Например, в случае превышения допустимого времени простоя при эксплуатации на мощности, требование может заключаться в том, чтобы операторы снизили мощность или остановили станцию. Кроме того, требования к работоспособности оборудования обычно включают ограничения по сочетаниям оборудования, которое может быть одновременно выведено с целью проведения техобслуживания (обычно называется контролем конфигурации). Данные ВОБ могут использоваться в качестве исходных данных для обоснования ограничивающих условий для эксплуатации и разрешенных периодов простоя.

10.30. Интервалы между контрольными испытаниями определяют требования к испытаниям систем, связанных с безопасностью, и задают частоту испытаний, а иногда и стратегию испытаний, которые необходимо соблюдать. В случае превышения периода между контрольными испытаниями технические спецификации требуют, чтобы соответствующее оборудование считалось неработоспособным. Такое применение ВОБ связано с использованием риск-ориентированного подхода, использующего данные ВОБ для оптимизации допустимого времени простоя, интервалов между контрольными испытаниями и стратегий испытаний.

10.31. При создании основы для технических спецификаций следует использовать риск-ориентированный подход. Целью должно являться создание согласованной основы, связанной со значимостью затрагиваемых характеристик установки с точки зрения риска.

10.32. В данные, получаемые с помощью ВОБ уровня 1, следует включать информацию, необходимую для сравнения с критериями или руководящими принципами принятия решений, используемыми для поддержки риск-ориентированного подхода к техническим спецификациям. Такая информация может включать, например, условную частоту повреждения активной зоны, когда элемент установки проходит техобслуживание; дополнительную условную вероятность повреждения активной зоны; совокупную, дополнительную, условную вероятность повреждения активной зоны в год и влияние изменения на среднегодовую частоту повреждения активной зоны.

10.33. В случае, если предлагается переместить конкретную деятельность по техобслуживанию с режима работы на мощности на режим останова (или наоборот), ВОБ следует использовать для определения соответствующих изменений риска в режимах номинальной мощности и останова.

10.34. При получении с помощью ВОБ уровня 1 исходных данных для оптимизации интервалов между контрольными испытаниями следует представить обоснование использованной корреляции между интервалом контрольных испытаний и вероятностью отказа элемента.

10.35. В случае если предлагается внести изменения в стратегию испытаний (т.е. внедрение ступенчатого испытания), ВОБ уровня 1 следует использовать для определения изменения частоты повреждения активной зоны, к которому это приводит. Следует также рассмотреть косвенные последствия, такие как изменения вероятностей отказов по общей причине и изменения вероятности ошибки оператора в результате нарушения инструкций³⁴.

МОНИТОРЫ РИСКОВ

10.36. Монитор риска представляет собой инструментальное средство анализа реального времени, вырабатывающее информацию о рисках на основании фактической конфигурации станции посредством ряда факторов, которые обычно включают: эксплуатационное состояние станции (работа на мощности или один из режимов останова), элементы, выведенные из работы, и выбор рабочих и резервных линий для систем нормальной эксплуатации. Информация, полученная с помощью монитора рисков, может использоваться в повседневном планировании техобслуживания для обеспечения того, что работы по техобслуживанию спланированы таким образом, что высшие точки рисков избегаются, если это возможно, а совокупная дополнительная условная вероятность повреждения активной зоны станции является низкой.

10.37. Мониторы рисков также были полезны при рассмотрении правил техобслуживания Комиссии по ядерному регулированию США, которые требуют, чтобы эксплуатирующие организации производили оценку и управляли рисками, связанными с деятельностью по техобслуживанию.

³⁴ Хотя ошибки в результате нарушения инструкций могут не быть явно включены в модель ВОБ, обсуждение того, каким образом изменение может повлиять на вероятность ошибки в результате нарушения инструкций, может дать полезную дополнительную информацию при принятии решения о приемлемости изменения.

Существует большое количество мониторов рисков, используемых постоянно на атомных электростанциях в поддержку эксплуатационных решений. Таким образом, они могут рассматриваться как весьма зрелое применение ВОБ.

Модель ВОБ для монитора рисков

10.38. Несмотря на то, что монитор риска является специфическим применением текущей ВОБ, следует признать, что модель ВОБ, требуемая для монитора рисков, отличается от текущей ВОБ, и в нее обычно необходимо вносить изменения, как указано в следующих пунктах.

10.39. Модель ВОБ уровня 1 следует изменять таким образом, чтобы она рассчитывала «риск в определенный момент времени» для каждой из вводимых конфигураций станции, а не средний риск, традиционно рассчитываемый с помощью ВОБ. Для этого требуется определить все предположения и данные, относящиеся к расчету среднего риска (например, частоты исходных событий, неготовность элементов вследствие техобслуживания) и заменить их на эквивалентные предположения и данные для оценки риска в определенный момент времени.

10.40. Модель ВОБ следует изменять с целью удаления любых упрощений, сделанных с целью снижения объема анализа, необходимого для ВОБ, так как они могли бы привести к получению от монитора рисков некорректных результатов по некоторым из конфигураций станции. Удаление упрощений в модели ВОБ обычно включает:

- a) замену исходных событий, смоделированных в ВОБ в качестве событий со средней частотой, отдельными исходными событиями (например, замена аварии с потерей теплоносителя, смоделированной в качестве события в одной из ниток теплоносителя, отдельными событиями в каждой из ниток теплоносителя);
- b) корректировку системы моделирования и точный выбор рабочих и резервных линий систем, используемых при нормальной эксплуатации;
- c) удаление основных событий, включенных в ВОБ с целью моделирования техобслуживания, или задание для них вероятности, равной нулю.

10.41. Модель ВОБ следует улучшать для того, чтобы она обеспечивала расчет рисков, более близко соответствующий фактической конфигурации станции. Улучшение модели ВОБ обычно включает:

- a) указание процесса определения соответствующей вероятности отказа по общей причине, когда элементы изымаются из эксплуатации для техобслуживания;
- b) использование модели надежности работы оператора с учетом возможных ошибок оператора при фактической конфигурации станции;
- c) внедрение динамических событий с целью моделирования изменений частот исходных событий и вероятностей основных событий, возникающих вследствие изменений обстановки на станции.

10.42. Разрабатываемая модель ВОБ должна быть также совместима с программным обеспечением, используемым для монитора риска. Необходимые изменения могут включать изменение моделей дерева событий и дерева отказов, разработанных в ВОБ в виде логически эквивалентной большой модели дерева отказов (обычно называемой «общей логической моделью») или изменение способа использования в модели логики и логических переключателей типа «НЕ».

10.43. Для поддержки эксплуатации монитора риска необходим ряд баз данных. Например, необходима база данных, обеспечивающая связь между нормальной терминологией для элементов станции, знакомой операторам станции, и основными событиями, смоделированными в ВОБ, которые относятся к отказам или неготовности этих элементов станции. Все базы данных, необходимые для поддержки применения монитора риска, следует подвергать верификации.

10.44. Логическая структура модели ВОБ и соответствующие базы данных, разработанные для монитора риска, могут существенно отличаться от представленных в оригинальной ВОБ, и поэтому их следует подвергать валидации. Процесс валидации должен быть нацелен на обеспечение высокой степени уверенности в том, что количественные результаты, предоставляемые монитором риска, являются точными и соответствуют или являются эквивалентными результатам, предоставляемым оригинальной ВОБ для всех подобных конфигураций станции.

10.45. Существует большой опыт адаптации текущей ВОБ для использования в мониторе риска таким образом, чтобы она рассчитывала «риск в определенный момент времени», путем устранения упрощений, не подходящих для монитора рисков, внесения улучшений с целью повышения точности модели ВОБ и валидации полученной модели ВОБ [16].

Программное обеспечение монитора риска

10.46. Программное обеспечение монитора риска существенно отличается от программного обеспечения, используемого для разработки и выполнения ВОБ. Существенным отличием является то, что монитор риска проектируется для использования всем персоналом атомной электростанции, а не только специалистами по ВОБ, и что пользователь может не обладать специальными знаниями технологий ВОБ. Пользователь ограничен во внесении изменений в конфигурацию станции, например, в указании состояния эксплуатации станции и выявление компонентов, которые были выведены из эксплуатации для техобслуживания. Это делается с использованием нормальных идентификаторов станции для выбранного оборудования. Поэтому пользователям нет необходимости напрямую взаимодействовать с моделью ВОБ, и обычно для них не требуется специального обучения технологиям ВОБ.

10.47. Был разработан ряд высококачественных программных кодов с поддержкой широкого диапазона функций, включая как качественные, так и количественные показатели риска. Компьютеры позволяют осуществить общий подход, при котором мониторы риска включают полную модель ВОБ, используемую для расчета «риска в определенный момент времени» для частоты повреждения активной зоны при каждой фактической или предлагаемой конфигурации станции, так как это допускает большую гибкость при моделировании и обеспечивает большую точность при расчете уровня риска для всех конфигураций станции. Используемым альтернативным подходом является создание каталога готовых оценок для большого числа конфигураций.

10.48. Выбранное (или разработанное) программного обеспечение для применения в мониторе риска следует подвергать валидации, оно должно обеспечивать широкий диапазон функций и быть пригодным для использования различными специалистами на станции. Программное обеспечение должно обеспечивать результаты в режиме реального времени. Для мониторов риска, основанных на расчете модели ВОБ в режиме реального времени, скорость вычислений, связанная с программным обеспечением, должна быть достаточно высокой.

Представление информации от мониторов риска

10.49. Монитор риска представляет как количественную информацию о рисках (расчет частоты повреждения активной зоны в определенный момент времени, разрешенное время конфигурации и совокупная дополнительная условная вероятность повреждения активной зоны), так и качественную информацию о

рисках (состояние функций и систем безопасности). Качественная информация касается детерминистических требований и дает информацию, дополняющую сведения, предоставленные количественными результатами. Эти данные являются особенно полезными для управления рисками в режимах останова.

10.50. Возможность пользоваться мониторами риска следует предоставлять различным специалистам на станции, выполняющим разнообразные функции. Поэтому монитор риска должен представлять информацию таким образом, чтобы она была понятна широкому кругу потенциальных пользователей. Обычно он оформляется в виде цветных дисплеев, дающих пользователю ясную визуальную информацию об уровне риска и о статусе функций и систем безопасности.

Использование мониторов риска

10.51. В случае, если монитор риска используется персоналом штаба управления и другими лицами, необходимо поддерживать его в актуальном состоянии, так, чтобы информация о текущей конфигурации станции и факторах окружающей среды была точной. Хорошо проводить обновление своевременно, таким образом, чтобы мониторы риска могли использоваться в реальном времени и показывали текущие риски на станции.

10.52. Монитор риска может использоваться для планирования простоев для техобслуживания в будущем, долгосрочного прогнозирования риска, анализа совокупной дополнительной условной вероятности повреждения активной зоны и оценки непредвиденных событий, таких как отказы оборудования.

10.53. Количественную и качественную информацию о рисках, представляемую монитором риска, следует использовать как часть комплексного, риск-информированного процесса принятия решений с учетом обязательных требований (таких, как технические спецификации станции) и детерминистических требований (таких, как поддержание глубоко эшелонированной защиты).

Ограничения мониторов риска

10.54. Существуют ограничения в отношении сферы охвата или уровня детализации текущей ВОБ и последующие ограничения в отношении информации о риске, предоставляемой монитором риска. Например, модель ВОБ уровня 1 может не включать все внутренние и внешние угрозы, может не рассматривать все эксплуатационные режимы станции и может не моделировать

все рабочие и резервные нитки, взаимосвязи на станции и т.д. Пользователей монитора риска следует информировать обо всех подобных ограничениях, которые следует учитывать при использовании информации для поддержки эксплуатационных решений.

РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ИНСПЕКЦИИ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

10.55. Общей целью программы инспекций в процессе эксплуатации трубопроводов на атомной электростанции является выявление поврежденных участков, которые могут быть отремонтированы до наступления отказа в работе. Программа инспекций обычно основывается на традиционном детерминистическом подходе и на инженерной оценке.

10.56. Целью риск-ориентированных инспекций в процессе эксплуатации является использование данных, представляемых ВОБ, для корректировки программы инспекций (с проверкой частоты инспекций, используемых методов, размера выборки и т.п.) и уделению основного внимания участкам трубопроводов, представляющим наибольший риск, и снижению числа инспекций участков трубопроводов, наименее значимых с точки зрения риска. Ожидается, что это приведет к уменьшению общего числа проводимых инспекций трубопроводов, снижению затрат и связанной с ними дозовой нагрузки эксплуатационного персонала, без повышения уровня риска, создаваемого станцией.

10.57. Разработаны некоторые подходы к проведению риск-ориентированных инспекций в процессе эксплуатации³⁵.

Использование ВОБ в риск-ориентированных инспекциях в процессе эксплуатации

10.58. Данные ВОБ уровня 1 следует использовать в качестве исходных данных при определении следующего:

³⁵ Примерами служат методы, известные как методология Научно-исследовательского электроэнергетического института и методология компании «Вестингауз оунерз груп» и разработанные этими учреждениями, причем обе методологии широко используются.

- a) участков трубопроводов, которые должны проходить оценку в рамках проекта риск-ориентированных инспекций в процессе эксплуатации;
- b) значимости риска для участков трубопроводов, проходящих оценку;
- c) целевых вероятностей отказов для участков трубопроводов, подвергаемых инспекциям;
- d) изменению риска в результате изменений программы инспекций в процессе эксплуатации.

10.59. Для каждого участка трубопровода, проходящего обследование, последствия отказа участка следует определять одним из следующих способов:

- a) в качестве исходного события, с учетом любого возможного вторичного отказа(ов) (например, в результате выброса воды или пара, пульсации трубопровода);
- b) в качестве отказа резервной системы, который может привести к тому, что тракт системы (или вся система) потеряет способность выполнять свою функцию безопасности;
- c) в качестве отказа тракта системы (или всей системы) при работе по требованию, вследствие нагрузок, воздействующих на участок трубопровода.

10.60. Отказы трубопроводов, которые приводят напрямую к исходным событиям, обычно уже включены в полномасштабную ВОБ уровня 1. Следует проверить, действительно ли это так. Однако отказы трубопроводов, которые приводят к неготовности систем безопасности или отказу срабатывания систем безопасности по запросу, обычно не включаются в модель ВОБ ввиду того, что их вклад в вероятность отказа систем безопасности вследствие отказа трубопроводов ничтожен по сравнению с вкладом вследствие отказа активных элементов.

10.61. Для отказов трубопроводов, приводящих к исходным событиям, для определения условной вероятности повреждения активной зоны следует использовать ВОБ. Для отказов трубопроводов, приводящих к отказам резервных систем или отказам систем, работающих по требованию, ВОБ следует использовать для расчета условной частоты повреждения активной зоны.

10.62. Строгий способ определения значимости с точки зрения риска всех участков трубопроводов, включенных в проект риск-ориентированных инспекций в процессе эксплуатации, заключается в пересмотре модели ВОБ с целью включения этих участков трубопроводов и, тем самым, непосредственном

определении частоты повреждения активной зоны и условной вероятности повреждения активной зоны. Этот подход был использован в некоторых проектах риск-ориентированных инспекций в процессе эксплуатации, выполненных различными государствами-членами.

10.63. Часто применяемым альтернативным подходом является применение замещающего подхода, при котором отказы трубопроводов, не включенные явно в ВОБ, связываются с основными событиями (или группами основных событий), уже включенных в ВОБ, или для которых последствия отказа являются теми же самыми. При этом необходимо стремиться обеспечивать, чтобы все вторичные последствия отказов трубопроводов учитывались в модели ВОБ.

10.64. После определения скорректированной программы инспекций в процессе эксплуатации ВОБ следует использовать для определения данных о риске, необходимых для сравнения с критериями или руководящими принципами принятия решений, используемыми для оценки приемлемости изменения в программе инспекций в процессе эксплуатации. Это можно сделать посредством оценки конкретных изменений в частотах исходных событий или вероятностях отказов элементов, являющихся результатом изменения в программе инспекций в процессе эксплуатации и посредством повторной квантификации ВОБ с этими пересмотренными значениями, или посредством выполнения исследований чувствительности. При осуществлении этого процесса следует понимать и учитывать связанные с этим ограничения ВОБ в отношении детализации, масштаба моделирования и т.п.

РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ИСПЫТАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

10.65. Современный подход к испытаниям в процессе эксплуатации требует их выполнения в соответствии с нормами и правилами, которые могут быть или не быть включены в предписанные регулирующие положения³⁶, которые используют детерминистический подход к выбору программы испытаний в процессе эксплуатации, проводимых для элементов на станции.

10.66. Целью применения риск-ориентированного подхода к испытаниям в процессе эксплуатации является использование информации о рисках,

³⁶ Примером является раздел ОМ в [17].

предоставляемой ВОБ, для облегчения оптимизации программы испытаний в процессе эксплуатации, таким образом, чтобы она была сфокусирована на элементах, имеющих наибольшую значимость с точки зрения риска. С точки зрения операторов станции, риск-ориентированный подход к испытаниям в процессе эксплуатации потенциально позволяет снизить общие затраты на техобслуживание, при этом сохраняя весьма высокий уровень безопасности.

10.67. При применении риск-ориентированного подхода к испытаниям в процессе эксплуатации результаты ВОБ следует использовать наряду с детерминистическими и инженерными соображениями для определения значимости рассматриваемых элементов с точки зрения риска. Информацию о риске из ВОБ следует получать с использованием показателей значимости Fussell-Vesely и Birnbaum (или цены возрастания риска), ввиду того, что оба эти показателя значимости позволяют получить данные о значимости элементов с точки зрения риска.

10.68. Информацию о рисках следует использовать для идентификации элементов с относительно высокой значимостью для безопасности, для которых требуются жесткие испытания в процессе эксплуатации, и элементов с относительно низкой значимостью, для которых испытания в процессе эксплуатации могут быть менее жесткими. Программа испытаний в процессе эксплуатации может затем быть откорректирована с учетом значимости элементов с точки зрения безопасности.

10.69. После корректировки интервалов испытаний в процессе эксплуатации, ВОБ уровня 1 следует использовать для расчета частоты повреждения активной зоны по новым интервалам испытаний с целью определения приемлемости этого.

ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА³⁷

10.70. Целью программы обеспечения качества применительно к конструкциям, системам и элементам на атомной электростанции является обеспечение высокого уровня уверенности в том, что они будут надежно выполнять свои функции безопасности в диапазоне условий, в которых они могут оказаться при нормальных условиях эксплуатации и после аварий. Нормальным подходом является применение детерминистических методов и инженерной оценки для выявления конструкций, систем и элементов, связанных с безопасностью, и применения к ним высокого уровня обеспечения качества. Историческим подходом является применение одинаково высокого уровня обеспечения качества для всех конструкций, систем и элементов станции, связанных с безопасностью.

10.71. Однако результаты многих ВОБ, проведенных до настоящего времени, показали, что некоторые из конструкций, систем и элементов, классифицированных как связанные с безопасностью, имеют относительно низкую значимость с точки зрения риска, а другие конструкции, системы и элементы, классифицированные как не связанные с безопасностью, имеют относительно высокую значимость с точки зрения риска.

10.72. Целью применения дифференцированного подхода к обеспечению качества является рассмотрение того, можно ли внести изменения в традиционные требования по качеству для некоторых конструкций, систем и элементов с целью приведения требований в соответствие с значимостью конструкций, систем и элементов с точки зрения риска. С точки зрения операторов станции это позволит уменьшить ресурсы, необходимые для выполнения программы обеспечения качества, а с точки зрения регулирующего органа это снимет ненужную нагрузку с операторов станции.

10.73. ВОБ уровня 1 следует использовать для определения значимости конструкций, систем и элементов с точки зрения риска. Значимость с точки

³⁷ В США риск-ориентированное обеспечение качества замещается требованиями по «особой трактовке», ориентированными на информацию о риске, которые включают обеспечение качества, но также включают такие элементы, как аттестация условий окружающей среды. Причиной этого является то, что даже если показано, что изменение требований к обеспечению качества осуществимо, то прочие требования по «особой трактовке» не позволяют осуществить это изменение. Поэтому требования по «особой трактовке» должны рассматриваться в целом. Это применение учтено посредством добровольного регулирующего положения 10 CFR 50.69 [18].

зрения риска следует определять с использованием показателей значимости Fussell-Vesely и Birnbaum (или цены возрастания риска) ввиду того, что эти показатели значимости позволяют понять значимость конструкций, систем и элементов с точки зрения риска. Кроме того, определение значимости с точки зрения риска следует выполнять скорее на уровне функций безопасности и систем безопасности, чем на уровне отдельных конструкций, систем и элементов (в связи с тем, что ожидается, что требования по качеству для комплектов элементов, выполняющих одинаковые функции безопасности или являющихся частью одной и той же системы безопасности, должны быть одинаковыми). Однако, возможно, необходимо также рассматривать значимость отдельных элементов.

10.74. Классификацию безопасности (полученную с помощью детерминистического анализа и инженерной оценки) и значимость с точки зрения риска (происходящая из ВОБ) следует использовать совместно при принятии решений относительно того, следует ли вносить изменения в текущие мероприятия по обеспечению качества на существующей станции или в предлагаемые мероприятия по обеспечению качества на основе традиционного подхода для новой станции.

10.75. Следует рассмотреть, возможно ли сокращение мероприятий по обеспечению качества для конструкций, систем и компонентов, которые классифицированы как связанные с безопасностью, но имеют относительно низкую значимость с точки зрения риска, а также необходимо ли расширение этих мероприятий для конструкций, систем и компонентов, которые не связаны с безопасностью, но имеют относительно высокую значимость с точки зрения риска. Существующие мероприятия по обеспечению качества будут по-прежнему применяться к другим конструкциям, системам и элементам.

ОЦЕНОЧНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ БЕЗОПАСНОСТИ, ОСНОВАННЫЕ НА ВОБ

10.76. Оценочные показатели безопасности, основанные на ВОБ, могут использоваться для обеспечения ретроспективной или текущей оценки безопасности станции. Такие показатели обычно включают профиль риска по эксплуатации станции в прошлом, текущий риск и совокупную вероятность повреждения активной зоны при остановках для выполнения техобслуживания и т.п. Многие подобные показатели могут быть получены напрямую с использованием монитора риска. Другие оценочные показатели безопасности могут быть получены путем анализа событий, основанного на ВОБ.

10.77. Для станции следует разработать и контролировать набор оценочных показателей безопасности, которые используют информацию, непосредственно получаемую при ВОБ уровня 1.

АНАЛИЗ СОБЫТИЙ НА ОСНОВЕ ВОБ

10.78. Эксплуатационные события можно анализировать с использованием модели ВОБ. Сегодня это является все более общепринятой практикой во многих государствах и представляет собой стандартную часть учета опыта эксплуатации в дополнение к традиционному детерминистическому анализу, выполняемому для определения корневых причин, и т.д. Целью анализа событий обычно является определение значимости возможных событий с точки зрения риска и факторов, вносящих вклад в риск, таким образом, чтобы на события можно было реагировать в соответствии с их значимостью с точки зрения риска.

10.79. Анализ событий на основе ВОБ следует выполнять для событий на станции (именуемых «непосредственными событиями») и событий на других станциях («транспонированных событий»). В анализ событий на основе ВОБ следует включать анализ исходных событий (когда реально произошло исходное событие и когда произошли отказы, но когда исходное событие было предотвращено своевременным вмешательством оператора) и условных событий (когда возросла вероятность исходного события или снизилась готовность систем безопасности, требуемых для реагирования на исходные события).

10.80. Анализ событий на основе ВОБ следует выполнять для событий с высокой потенциальной значимостью для безопасности. Это требует разработки критериев скрининга для отсева событий с низкой значимостью для безопасности и для ранжирования событий в соответствии с их значимостью.

10.81. Состояние станции, произошедшие отказы и действия оператора, выполненные во время события, следует определять и точно включать в модель ВОБ. Модель ВОБ следует подвергнуть повторной квантификации с целью получения результатов, необходимых для сравнения с критериями, рассмотренными в разделе 10.80. Результатами, необходимыми для сравнения, обычно являются условная вероятность повреждения активной зоны для исходных событий и мгновенная частотой повреждения активной зоны для условных событий. Анализ событий следует дополнять исследованием чувствительности для ответа на вопросы «Что если?». Например, «какова будет

условная вероятность повреждения активной зоны, если оператор не сможет правильно отреагировать на событие?»». Ответы на такие вопросы следует дополнять данными по качеству для обеспечения понимания основных вкладов в риск возникновения события.

10.82. Анализ событий на основе ВОБ следует выполнять с целью дополнения детерминистического анализа путем рассмотрения множественного отказа с использованием комплексной модели и обеспечения количественной индикации значимости эксплуатационных событий с точки зрения риска. Его следует также использовать для получения исходных данных для рассмотрения того, какие изменения могут быть внесены с целью снижения вероятности повторения таких эксплуатационных событий.

10.83. Следует с осторожностью использовать результаты анализа событий на основе ВОБ для выявления тенденций в работе атомных станций или ряда атомных станций за определенный период времени. Результаты такого применения анализа событий на основе ВОБ могут оказаться дезориентирующими, если во всем анализе не используются одни и те же модели, методы и предположения.

РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ РЕГУЛИРУЮЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

10.84. Данные, получаемые с помощью ВОБ, могут использоваться регулирующими органами при принятии решений о том, каким образом они осуществляют свою деятельность. Это дополняет использование ВОБ регулирующим органом при принятии решений по вопросам безопасности атомных электростанций и применений ВОБ, описанных выше в настоящем разделе.

10.85. Данные, получаемые с помощью ВОБ, следует использовать в качестве части комплексного риск-ориентированного процесса принятия решений. Целью должны быть определение приоритетов и оптимизация регулирующей деятельности таким образом, чтобы она могла быть сфокусирована на областях, обладающих наивысшей значимостью с точки зрения риска. Следует также стремиться к уменьшению нормативной нагрузки на операторов станции посредством отмены излишних регулирующих положений и требований.

Риск-ориентированная разработка и обновление регулирующих положений

10.86. При разработке и обновлении регулирующих положений и руководств регулирующему органу следует применять риск-ориентированный подход с учетом информации и данных о рисках, предоставляемых ВОБ уровня 1.

10.87. Целью должно быть использование данных из ВОБ уровня 1 для:

- a) выявления не охваченных существующими регулируемыми положениями областей, значимых с точки зрения риска, с тем чтобы можно было разрабатывать дальнейшие регулирующие положения;
- b) определения относительной значимости существующих регулирующих положений или требований с точки зрения риска, с тем чтобы их можно было изменять в соответствии с их значимостью с точки зрения риска;
- c) выявления излишних или неэффективных частей регулирующих положений или требований, с тем чтобы их можно было исключать.

Риск-ориентированное установление приоритетов и оптимизация регулирующей деятельности

10.88. Деятельность, осуществляемая регулирующим органом, включает: выдачу, изменение, приостановление действия или изъятие разрешений или лицензий; проведение регулирующих инспекций и осуществление надзора; обеспечение принятия корректирующих действий и принятие в случае необходимости мер по обеспечению соблюдения.

10.89. Информацию о рисках, предоставляемую ВОБ уровня 1, следует использовать для установления приоритетов и оптимизации деятельности регулирующего органа. Например, информация о рисках, предоставляемая ВОБ уровня 1 может использоваться для определения приоритетов по проведению ряда регулирующих инспекций, предлагаемых на следующий период времени. Целью должно быть обеспечение того, чтобы основное внимание в инспекциях уделялось областям проектирования и эксплуатации станций, имеющим высокую значимость с точки зрения риска, и чтобы они были сокращены или не проводились в областях, имеющих низкую значимость с точки зрения риска.

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, Основополагающие принципы безопасности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SF-1, МАГАТЭ, Вена (2007).
- [2] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Безопасность атомных электростанций: проектирование, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-R-1, МАГАТЭ, Вена (2003).
- [3] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Оценка безопасности установок и деятельности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 4, МАГАТЭ, Вена (2009).
- [4] INTERNATIONAL NUCLEAR SAFETY ADVISORY GROUP, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants 75-INSAG-3 Rev.1, INSAG-12, IAEA, Vienna (1999).
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Convention on Nuclear Safety, Legal Series No. 16, IAEA, Vienna (1994).
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Role of Probabilistic Safety Assessment and Probabilistic Safety Criteria in Nuclear Power Plant Safety, Safety Series No. 106, IAEA, Vienna (1992).
- [7] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Система управления для установок и деятельности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GS-R-3, МАГАТЭ, Вена (2008).
- [8] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Учет внешних событий, исключая землетрясения, при проектировании атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-1.5, МАГАТЭ, Вена (2008).
- [9] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Защита от внутренних пожаров и взрывов при проектировании атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-1.7, МАГАТЭ, Вена (2008).
- [10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Protection against Internal Hazards other than Fires and Explosions in the Design of Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-1.11, IAEA, Vienna (2004).
- [11] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Противопожарная безопасность при эксплуатации атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-2.1, МАГАТЭ, Вена (2004).
- [12] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Evaluation of External Hazards to Nuclear Power Plants in the United States, NUREG/CR-5042, Supplement 2, USNRC, Washington, DC (1989).

- [13] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Evaluation of Seismic Safety for Existing Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-2.13, IAEA, Vienna (2009).
- [14] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Applications of Probabilistic Safety Assessment (PSA) for Nuclear Power Plants, IAEA-TECDOC-1200, IAEA, Vienna (2001).
- [15] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Determining the Quality of Probabilistic Safety Assessment (PSA) for Applications in Nuclear Power Plants, IAEA-TECDOC-1511, IAEA, Vienna (2006).
- [16] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Risk Monitors: The State of the Art in their Development and Use at Nuclear Power Plants, WGGRisk, NEA/CSNI/R(2004)20, OECD, Paris (2004)
- [17] AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, Boiler and Pressure Vessel Code, 2007 edn, ASME, New York (2007).
- [18] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Risk-Informed Categorization and Treatment of Structures and Components for Nuclear Power Reactors, 10 CFR 50.69, US Govt Printing Office, Washington, DC (2004).

Приложение I

ПРИМЕР ОБЩЕГО ПЕРЕЧНЯ ВНУТРЕННИХ И ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ

| Код | Опасность | Определение опасности и ее проявление | Взаимодействия и комментарии |
|---------------------------------------|---|---|--|
| Природные опасности в воздушной среде | | | |
| A1 | Сильный ветер | Опасность определяется степенью повреждения станции, вызванного сильными ветрами. Включает прямые повреждения в результате давления ветра и косвенный ущерб, наносимый предметами, переносимыми ветром | Опасность не включает торнадо (A2) из-за уникальных характеристик этой опасности. Опасность не включает дифференцирующие эффекты снежных бурь (указаны в A7), соляных бурь (A12) или песчаных бурь (A13). Однако включены последствия этих опасностей, связанные с воздействием. Последствия штормового ветра учтены в опасности, связанной с высоким уровнем воды (W3). |
| A2 | Торнадо | Опасность определяется как ущерб, наносимый станции торнадо. Данную опасность следует отличать от опасности других штормовых ветров ввиду ее особых характеристик продолжительности, скорости ветра и частоты повторения. | |
| A3 | Высокая температура воздуха | Опасность определяется как воздействие на станцию высоких температур воздуха. | Воздействие на станцию высоких температур воды рассматривается отдельно (W4). |
| A4 | Низкая температура воздуха | Опасность определяется как воздействие на станцию низких температур воздуха. | Воздействие на станцию низких температур воды (W4) или наледи (W7, W8, W9) рассматривается отдельно. |
| A5 | Экстремальное давление воздуха (высокое/низкое, изменяющееся) | Опасность определяется как воздействие на станцию высокого или низкого давления воздуха или быстрого изменения давления. | |

| Код | Опасность | Определение опасности и ее проявление | Взаимодействия и комментарии |
|-----|---|--|--|
| A6 | Экстремальный дождь | Опасность определяется как ущерб, наносимый станции экстремальным дождем. | Включает повреждения вследствие дождевых нагрузок на конструкции и повреждения вследствие затопления |
| A7 | Экстремальный снегопад (включая снежную бурю) | Опасность определяется как ущерб, наносимый станции экстремальным снегопадом (включая снежные бури). | Воздействие ветра вследствие снежных бурь рассматривается в (A1) – опасностях, связанных с сильными ветрами. Эффекты затопления вследствие таяния снега ограничиваются эффектами затопления вследствие экстремального дождя (A6). |
| A8 | Экстремальный град | Опасность определяется как ущерб, наносимый станции экстремальным градом. Включает повреждение вследствие нагрузки града на конструкции. | Последствия затопления вследствие таяния града связано с подтоплением вследствие экстремального дождя (A6). Любые возможные воздействия на конечный поглотитель тепла, по-видимому, связаны с угрозой образования наледи (W7, W8, W9). |
| A9 | Туман | Опасность определяется как воздействие на станцию тумана. | |
| A10 | Иней | Опасность определяется как воздействие на станцию инея. | |
| A11 | Засуха | Засуха определяется как период продолжительной засухи, снижающий уровень воды в озерах, реках и открытых водоемах. | Возможные воздействия на станцию вследствие высоких температур воздуха (A3) или высоких температур воды (W4) охватываются анализом этих опасностей. Считается, что нет воздействия на уровень воды (теплоотвод). |
| A12 | Соляная буря | Опасность определяется как буря с выпадением соли на конструкциях станции. | Ветровые эффекты соляных бурь учтены в опасности, связанной с сильными ветрами (A1). |
| A13 | Песчаная буря | Опасность определяется как воздействие на станцию песка во время бури. | Ветровые эффекты песчаных бурь учтены в опасности, связанной с сильными ветрами (A1). |

| Код | Опасность | Определение опасности и ее проявление | Взаимодействия и комментарии |
|---|-----------------------|--|--|
| A14 | Молния | Опасность определяется как ущерб, наносимый станции вследствие удара молнии. Воздействие может быть непосредственным, вызывающим повреждения конструкций или опасности, связанные с потерей внешнего электроснабжения, или косвенным, связанным с пожаром электромагнитного фидера, вызванным молнией. | Пожар, вызванный молнией, ограничивается анализом внешнего пожара (G7) и внутреннего пожара. |
| A15 | Метеорит | Опасность определяется как ущерб, наносимый станции вследствие удара метеорита. | |
| Природные опасности наземного характера | | | |
| G1 | Вспучивание грунта | Опасность определяется как воздействие на станцию вследствие вспучивания грунта. | |
| G2 | Промерзание грунта | Опасность определяется как воздействие на станцию промерзания грунта. | |
| G3 | Животные | Опасность определяется как воздействие на станцию животных. | Воздействие на поступающую воду рыбы, мидий и т.п. рассматривается в W10. |
| G4 | Вулканические явления | Опасность определяется как воздействие на станцию вулканических извержений. | |
| G5 | Снежные лавины | Опасность определяется как воздействие на станцию снежных лавин. | |
| G6 | Оползни | Опасность определяется как воздействия на станцию оползней. | |

| Код | Опасность | Определение опасности и ее проявление | Взаимодействия и комментарии |
|---------------------------------------|--|--|--|
| G7 | Внешний пожар | Опасность определяется как воздействие на станцию пожара, возникшего вне станции, в пределах или за пределами площадки. | Внутренние пожары, распространяющиеся от другой установки на площадке, рассматриваются отдельно (M15). Пожары в результате вторичных эффектов внешних опасностей рассматриваются как часть этих опасностей (M2, M11, M20). Внутренние пожары анализируются в качестве части ВОБ для внутренних опасностей. |
| G8 | Сейсмические опасности | Опасность определяется как воздействие на станцию землетрясения. | |
| G9 | Карсты | Опасность определяется как воздействие на станцию расщелин, карстовых воронок, подземных потоков и пустот, вызванных эрозией. | |
| Природные опасности водного характера | | | |
| W1 | Сильные потоки воды (подводная эрозия) | Воздействие на станцию вследствие повреждения конструкций станции сильными потоками воды. | Последствия подводных оползней рассматриваются отдельно (W6). |
| W2 | Низкий уровень воды | Опасность определяется как воздействие на станцию низкого уровня воды. | Падение уровня вследствие испарения грунта рассматривается в G1. |
| W3 | Высокий уровень воды | Опасность определяется как воздействие на станцию высокого уровня воды. Высокие уровни воды могут быть вызваны штормовыми нагонами, волнами или сейшмами. На высокие уровни воды также воздействуют приливные колебания. | |
| W4 | Высокая температура воды | Опасность определяется как воздействие на станцию высокой температуры воды. | Воздействие на станцию вследствие высокой температуры воздуха рассматривается отдельно (A3). |

| Код | Опасность | Определение опасности и ее проявление | Взаимодействия и комментарии |
|-----|---|--|---|
| W5 | Низкая температура воды | Опасность определяется как воздействие на станцию низкой температуры воды. | Воздействие на станцию низкой температуры воздуха (A4) или наледи (W7, W8, W9) рассматривается отдельно. |
| W6 | Подводные оползни | Опасность определяется как воздействие на станцию подводных оползней. | Подводные оползни могут возникать вследствие надводных причин, таких как продолжительное и интенсивное выпадение осадков. Воздействие на станцию подводной эрозии рассматривается как часть опасности, создаваемой сильными потоками воды (W1). |
| W7 | Поверхностный лед | Опасность определяется как воздействие на станцию толстого поверхностного льда. | Опасность не включает последствия воздействия поверхностного льда (W8) и ледяных барьеров (W9). |
| W8 | Шлаковидный лёд | Опасность определяется как воздействие на станцию шлаковидного льда в заборнике охлаждающей воды. | |
| W9 | Ледяные барьеры | Опасность определяется как воздействие на станцию ледовых барьеров. | |
| W10 | Органические материалы в воде | Опасность определяется как воздействие на станцию органических материалов в поступающей воде. Материалом могут быть водоросли, морская трава, рыба, мидии, медузы и т.д. | |
| W11 | Коррозия (при воздействии соленой воды) | Опасность определяется как воздействие на станцию коррозии. | |
| W12 | Твердые или жидкие (не газообразные) загрязнения в сбросах из судов | Опасность определяется как воздействие на станцию твердых или жидких (не газообразных) загрязнений в сбросах из судов в воду. | |

| Код | Опасность | Определение опасности и ее проявление | Взаимодействия и комментарии |
|------------------------------|---|---|--|
| W13 | Химические выбросы в воду | Опасность определяется как воздействие на станцию химических выбросов в воду. Основное внимание уделяется снижению качества воды. Выбросы могут быть следствием крушения судна, но могут происходить и на суше. | Опасность не включает последствия выброса твердых или жидких (не газообразных) загрязнений (W12). |
| W14 | Цунами | Опасность определяется как ущерб, наносимый станции высоким уровнем воды и давления волн. | |
| Аварии за пределами площадки | | | |
| M1 | Прямое воздействие вследствие столкновения с судном | Опасность определяется как прямое воздействие судна. | Данная опасность не включает последствия выбросов в связи с аварией на судне (взрыв, загрязнение, засорение водозабора или выброс токсичных газов), поскольку эти опасности рассматриваются отдельно (M2, M3, W12, W13). |
| M2 | Взрыв после аварии при транспортировке | Воздействие на станцию вследствие взрыва после аварии при наземной транспортировке за пределами площадки или вследствие аварий при транспортировке по морю, озеру или реке. Повреждения могут быть вызваны воздействием давления или летящих предметов. | Опасность не включает повреждение вследствие падения самолета (M20) или аварии на трубопроводе (M5). Токсичное воздействие химических выбросов рассматривается в M3. |
| M3 | Химический выброс после аварии при транспортировке | Опасность определяется как токсичное воздействие на станцию в результате химических выбросов после аварий при наземной транспортировке за пределами площадки или аварий при транспортировке по морю, озеру или реке. | Последствия взрывов в результате аварий при транспортировке рассматриваются в M2. |

| Код | Опасность | Определение опасности и ее проявление | Взаимодействия и комментарии |
|-----|---|---|---|
| М4 | Взрыв вне станции | Опасность определяется как повреждение станции в результате взрывов (быстрое горение или детонация) твердых веществ или газовых облаков за пределами площадки. Повреждение может быть вызвано давлением или летящими предметами. | Опасность не включает взрывы, связанные с авариями при транспортировке за пределами площадки (М2) или авариями трубопроводов (М5). Последствия выброса токсичных химических веществ рассматриваются в М6. |
| М5 | Взрыв после аварии на трубопроводе | Опасность определяется как повреждение станции вследствие взрыва (быстрое горение или детонация) после аварии на трубопроводе. Повреждение может быть вызвано давлением или летящими предметами. | Последствия выброса токсичных химических веществ рассматриваются в М7. Последствия взрыва вследствие утечки за пределами или в пределах площадки рассматриваются в М4 и М11. Последствия выброса токсичных веществ после аварий при транспортировке или аварий на трубопроводе анализируются в М3 и М7. |
| М6 | Химические выбросы за пределами площадки | Опасность определяется как токсическое воздействие на станцию в результате выброса химических веществ за пределами площадки. Эти выбросы могут быть следствием технологических аварий вне станции или утечки веществ, хранящихся вне станции. | |
| М7 | Выбросы химических веществ после аварии на трубопроводе | Опасность определяется как токсичное воздействие на станцию вследствие выброса химических веществ после аварии на трубопроводе. | Последствия взрыва вследствие аварии на трубопроводе рассматриваются в М5. |
| М8 | Летающие объекты вследствие военных действий | Опасность определяется как воздействие на станцию летящих предметов вследствие военных действий. | Воздействие на электроснабжение и теплоотвод предполагается ограниченным другими опасностями. |

| Код | Опасность | Определение опасности и ее проявление | Взаимодействия и комментарии |
|--------------------|--|--|--|
| M9 | Земляные работы | Опасность определяется как воздействие на станцию в результате земляных работ в пределах или за пределами территории площадки. | |
| Аварии на площадке | | | |
| M10 | Прямое воздействие тяжелых транспортировок внутри площадки | Опасность определяется как повреждение станции вследствие тяжелой транспортировки внутри площадки, но вне станционных зданий. Это также включает транспортировку платформы для внешнего обслуживания защитной оболочки. | Тяжелая транспортировка внутри зданий станции анализируется как часть ВОБ для внутренних опасностей. |
| M11 | Взрыв на площадке | Опасность определяется как повреждение станции в результате взрыва (быстрое горение или детонация) твердых веществ или газовых облаков на площадке, но вне зданий станции. Повреждение может быть вызвано воздействием давления или летящих предметов. | Взрывы внутри зданий на станции анализируются как часть ВОБ для внутренних опасностей. |
| M12 | Взрыв после аварии на трубопроводе в пределах площадки | Опасность определяется как повреждение станции вследствие взрыва (быстрое горение или детонация) после аварии на трубопроводе. Повреждение может быть вызвано воздействием давления или летящих предметов. | |
| M13 | Химические выбросы в пределах площадки | Опасность определяется как токсичное воздействие на станцию вследствие выброса химических веществ в пределах площадки. | Выбросы могут происходить вследствие технологических аварий внутри станции или утечки веществ, хранящихся на площадке, но вне станционных зданий. Химические выбросы веществ, хранящихся внутри зданий, анализируются как часть ВОБ для внутренних опасностей. |

| Код | Опасность | Определение опасности и ее проявление | Взаимодействия и комментарии |
|---------------------------|--|--|---|
| M14 | Выбросы химических веществ после аварии трубопровода в пределах площадки | Опасность определяется как токсичное воздействие на станцию вследствие выброса химических веществ после аварии трубопровода в пределах площадки. | |
| M15 | Внутренний пожар, распространяющийся от других энергоблоков на площадке | Опасность определяется как воздействие на станцию пожара, возникшего на другом энергоблоке на площадке. | Внешние пожары рассматриваются отдельно (G7). Пожары в результате вторичных воздействий других внешних опасностей рассматриваются как часть этих опасностей (M2, M11, M20). |
| M16 | Летающие предметы от других энергоблоков на площадке | Опасность определяется как воздействие на станцию летящих предметов, образовавшихся на другом энергоблоке на площадке. | |
| M17 | Внутренние затопления и жесткие условия, распространяющиеся от других энергоблоков на площадке | Опасность определяется как повреждение станции в результате распространения воды от других энергоблоков. | |
| M18 | Земляные работы на площадке | Опасность определяется как воздействие на станцию земляных работ на территории площадки. | |
| Крушение воздушного судна | | | |
| M19 | Падение спутника | Опасность определяется как воздействие на станцию вследствие падения спутника. | |

| Код | Опасность | Определение опасности и ее проявление | Взаимодействия и комментарии |
|--------------------------------|---|---|------------------------------|
| M20 | Крушение воздушного судна | Опасность определяется как воздействие на станцию вследствие падения воздушного судна на площадку. Воздушное судно может быть коммерческим, частным или военным. | |
| Прочие антропогенные опасности | | | |
| M21 | Магнитные возмущения | Опасность определяется как воздействие на станцию антропогенных магнитных или электрических полей. Основными примерами источников таких полей являются радары, радио- и мобильные телефоны. | |
| M22 | Авария на дамбе выше станции по течению | Опасность определяется как повреждение конструкций, систем и элементов станции вследствие высокого уровня воды и волн. | |

Примечание: Перечень опасностей основан на документе, приведенном в ссылке¹. Внутренние опасности, возникающие внутри зданий станции, не включены в таблицу.

¹ KNOCHENHAUER, M., LOUKO, P., Guidance for External Events Analysis, Rep. SKI-R-02/27-SE, SKI, Stockholm, February 2003

Приложение II

ПРИМЕРЫ ДЕРЕВЬЕВ СОБЫТИЙ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ПОЖАРА И ДЕРЕВЬЕВ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

ИЛЛЮСТРАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ДЕРЕВА СОБЫТИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ПОДАВЛЕНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА

II-1. Пример дерева событий при распространении пожара, представленный на Рис. II-1, включает все соответствующие характеристики, отличающие возникновение пожара. Выделяется раннее и позднее обнаружение пожара, поскольку эти случаи связаны с разными вероятностями борьбы с пожаром и тушения пожара. Для распространения пожара важно, закрыто ли помещение и в какой степени. При последующем моделировании рассматривается оборудование для борьбы с пожаром, с учетом возможных повреждения средствами пожаротушения элементов, связанных с безопасностью. На Рис. II-1 представлена иллюстрация того, как метод дерева событий может быть использован для анализа подавления и распространения пожара.

ИЛЛЮСТРАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ДЕРЕВА СОБЫТИЙ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ИСХОДНЫХ СОБЫТИЙ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

II-2. На Рис. II-2 представлена иллюстрация того, как можно использовать метод дерева событий для моделирования различных последствий исходных событий сейсмического происхождения. В данном примере предполагается, что сейсмическое исходное событие всегда приводит к потере внешнего энергоснабжения.

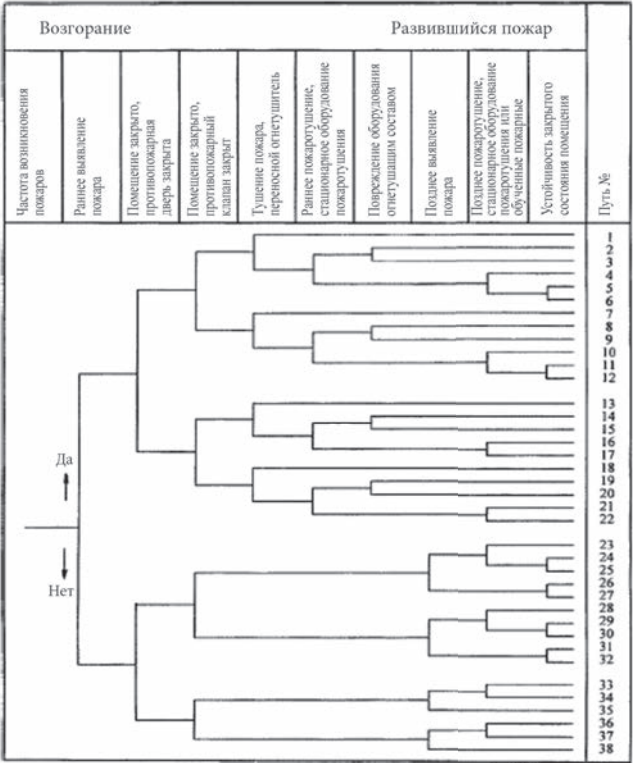


РИС. II-1. Пример дерева событий для распространения пожара

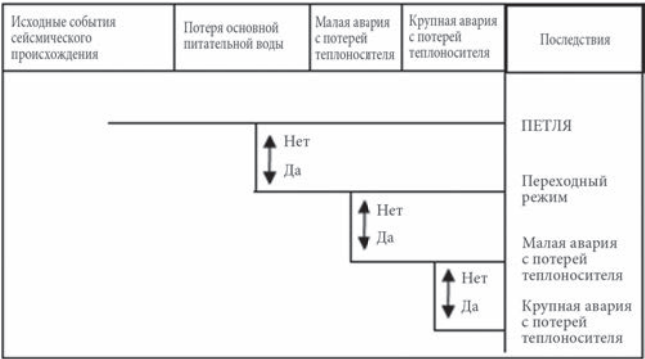


РИС. II-2. Пример дерева событий для моделирования исходного события сейсмического происхождения

Приложение III

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ПО ВОБ ДЛЯ РЕЖИМОВ НИЗКОЙ МОЩНОСТИ И ОСТАНОВА

ПРИМЕРЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СОСТОЯНИЙ СТАНЦИИ И СВЯЗАННЫХ С НИМИ ИСХОДНЫХ СОБЫТИЙ

III-1. В рамках ВОБ для немецкого кипящего реактора типа SWR 69 была проведена вероятностная оценка режимов низкой мощности и останова [III-1]. Пример станции с реактором с водой под давлением приведен в [III-2].

III-2. На основе [III—1] представлена информация с целью проиллюстрировать, как может быть задано эксплуатационное состояние станции и как исходные события могут быть связаны с эксплуатационным состоянием станции. Для описания изменения состояний, связанных с системой, и физических состояний, останов был разделен на эксплуатационные состояния станции (см. рис. III-1 и таблицу III-1). Эксплуатационные состояния станции выбирались таким образом, чтобы готовность систем и физические состояния являлись насколько возможно постоянными. Обычно, во время останова (состояния с 3-1 по 3-7), в состоянии готовности находятся один из двух источников аварийного электроснабжения, две из четырех ниток системы аварийного отвода остаточного тепловыделения и одна из двух ниток аварийной резервной системы. В состояниях 3-4, там, где выполняется наибольшая часть техобслуживания, необходимо, чтобы находилась в состоянии готовности система возврата протечек в прямке здания реактора.

III-3. Детальная оценка опыта эксплуатации в Германии проводилась с целью поиска событий, способных привести к исходным событиям, или повлиять на управление авариями в режимах низкой мощности и останова. Кроме оценки немецкого опыта эксплуатации, проходили оценку результаты международной ВОБ на режимах низкой мощности и останова [III-3, III-4].

III-4. Немецкая документация, содержащая руководящие материалы по ВОБ, также использовалась в качестве основы для выявления исходных событий [III-5 to III-7].

III-5. Выявление исходных событий и их привязка к состояниям эксплуатации, в которых они могут произойти, приводят к матрице, указанной в таблице III-2.

Ячейки, отмеченные 'X' в Таблице III-2 указывают на то, что исходное событие может произойти в данном эксплуатационном состоянии станции. Как указано в пункте 9.11, решения о включаемых конечных состояниях принимаются с учетом национальных критериев риска.

III-6. В качестве примера в [III-2] представлена соответствующая информация для станции с реактором с водой под давлением, а сводные данные приведены в таблицах III-3 и III-4. В таблице III-3 указаны выделяемые эксплуатационные состояния станции. В таблице III-4 указаны исходные события, которые должны рассматриваться в различных эксплуатационных состояниях станции. Этот перечень основывается на анализе национального и международного опыта эксплуатации.

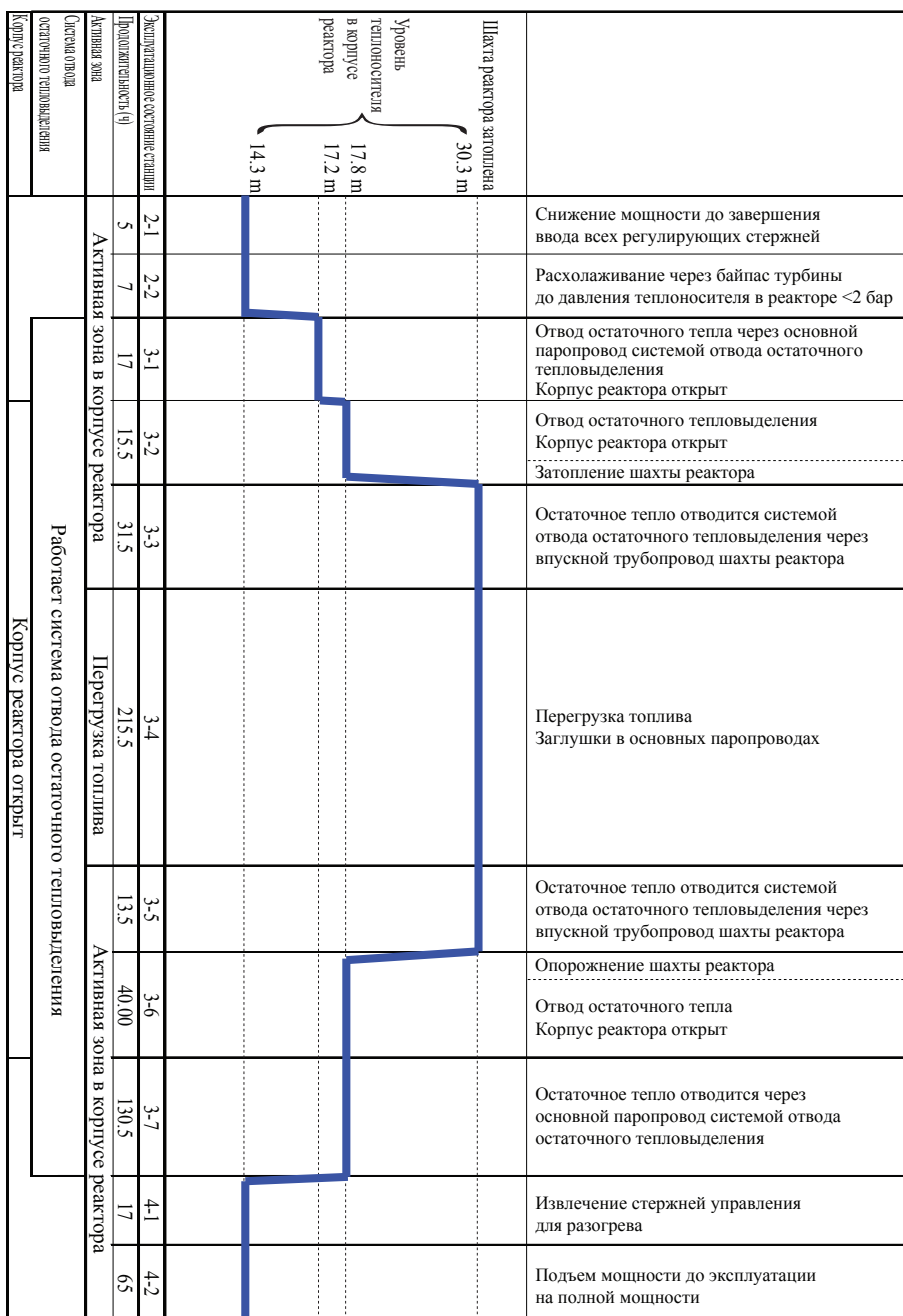


РИС. III-1. Уровень теплоносителя реактора во время останова.

ТАБЛИЦА III-1. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СОСТОЯНИЯ СТАНЦИИ ПРИ ПРОСТОЯХ НА БАЗИСНОЙ СТАНЦИИ

| | Эксплуатационное состояние станции | Характеристика эксплуатационного состояния станции |
|----------------|------------------------------------|---|
| Останов | 2-1 | Снижение мощности до введения всех стержней управления |
| | 2-2 | Расхолаживание через байпас турбины до давления теплоносителя в реакторе <2 бар; закрытие быстродействующего запорного отсечного клапана; повышение уровня воды в реакторе выше основных паропроводов впрыском из системы отвода остаточного тепловыделения |
| Простой | 3-1 | Отвод остаточного тепла через основной паропровод системой отвода остаточного тепловыделения; корпус реактора закрыт; температура теплоносителя реактора 130-50°C |
| | 3-2 | Отвод остаточного тепла через основной паропровод с системой отвода остаточного тепловыделения; корпус реактора открыт; температура теплоносителя реактора <40°C; монтаж уплотнения шахты реактора, затопление шахты реактора |
| | 3-3 | Шахта реактора затоплена; остаточное тепло отводится системой отвода остаточного тепловыделения через впускной трубопровод шахты реактора; открытие перегрузочного люка; введение заглушек в основных паропроводах |
| | 3-4 | Перегрузка топлива; остаточное тепло отводится системой отвода остаточного тепловыделения через впускной трубопровод шахты реактора |
| | 3-5 | Снятие заглушек на основных паропроводах; закрытие перегрузочного люка; остаточное тепло отводится системой отвода остаточного тепловыделения через впускной трубопровод шахты реактора |
| | 3-6 | Опорожнение шахты реактора; остаточное тепло отводится через основной паропровод системой отвода остаточного тепловыделения; демонтаж уплотнения шахты реактора |
| | 3-7 | Корпус реактора закрыт; остаточное тепло отводится через основной паропровод системой отвода остаточного тепловыделения |
| Повторный пуск | 4-1 | Останов системы отвода остаточного тепловыделения; снижение уровня в реакторе ниже основных паропроводов; извлечение стержней управления для разогрева |
| | 4-2 | Работа байпаса турбины, турбогенератор в работе; синхронизация; подъем мощности до эксплуатации на полной мощности |

ТАБЛИЦА III-2. ИСХОДНЫЕ СОБЫТИЯ ПРИ ПРОСТОЯХ НА БАЗИСОЙ СТАНЦИИ (с указанием потери критических функций безопасности или механизма запуска исходного события соответственно)

| Исходное событие | | Эксплуатационное состояние станции | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|---|------------------------------------|-----|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------------|---|
| | | Останов | | Простой | | | | | | | | Повтор- ный пуск | |
| | | 2-1 | 2-2 | 3-1 | 3-2 | 3-3 | 3-4 | 3-5 | 3-6 | 3-7 | 4-1 | 4-2 | |
| Переходные режимы | | | | | | | | | | | | | |
| T1 | Потеря основного теплоотвода | X | X | | | | | | | | | | X |
| T2 | Потеря предпочтительной мощности | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| T3 | Потеря основной питательной воды | X | X | | | | | | | | | | X |
| T4 | Потеря основной питательной воды и основного теплоотвода | X | X | | | | | | | | | | X |
| T5 | Сбой закрытия предохранительного клапана | X | X | | | | | | | | X | | X |
| T6 | Утечка в бассейне-барботере | | X | | X | | | | | | | | |
| T7 | Перелив в корпусе реактора от системы основной питательной воды | X | X | | | | | | | | | | X |
| T8 | Перелив в корпусе реактора от системы отвода остаточного тепловыделения | | X | | | | | | | | | | |
| T9 | Потеря отвода остаточного тепловыделения | | | X | X | X | X | X | X | X | | | |
| T10 | Потеря охлаждения бассейна выдержки отработавшего топлива | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| TA | Ожидаемый переходный процесс без срабатывания аварийной защиты реактора | X | | | | | | | | | X | | X |
| Аварии с потерей теплоносителя | | | | | | | | | | | | | |
| S1 | Протечки в корпусе реактора внутри защитной оболочки | | | | | | | | | | | | |
| S1.1 | В связи с разрывом трубопровода: | | | | | | | | | | | | |
| S1.1.1 | Над активной зоной (А-патрубок) | | | | | X | X | X | | | | | |
| S1.1.2 | Под активной зоной (Л-патрубок) | | | | | X | X | X | | | | | |

ТАБЛИЦА III-2. ИСХОДНЫЕ СОБЫТИЯ ПРИ ПРОСТОЯХ НА БАЗИСНОЙ СТАНЦИИ (с указанием потери критических функций безопасности или механизма запуска исходного события соответственно) (продолжение)

| Исходное событие | | Эксплуатационное состояние станции | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--|------------------------------------|-----|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------|---|
| | | Останов | | Простой | | | | | | | | Повторный пуск | |
| | | 2-1 | 2-2 | 3-1 | 3-2 | 3-3 | 3-4 | 3-5 | 3-6 | 3-7 | 4-1 | 4-2 | |
| S1.2 | Вследствие ошибки оператора при: | | | | | | | | | | | | |
| S1.2.1 | обследовании арматуры в основном паропроводе | | | | | | X | | | | | | |
| S1.2.2 | обследовании арматуры на впрыске в активную зону и систем подпитки первого контура | | | | | | X | | | | | | |
| S1.2.3 | извлечении вала рециркуляционного насоса | | | | | | X | | | | | | |
| S1.2.4 | обследовании приводов управляющих стержней | | | | | | X | | | | | | |
| S1.2.5 | замене датчиков нейтронного потока в активной зоне | | | | | | X | | | | | | |
| S2 | Протечка на системе отвода остаточного тепла | | | X | X | X | X | X | X | X | | | |
| S3 | Протечка через уплотнение шахты реактора | | | | X | X | X | X | X | | | | |
| S4 | Протечка в смежную систему: | | | | | | | | | | | | |
| S4.1 | сбой контроля уровня в корпусе реактора | | | X | X | | | | X | X | | | |
| S4.2 | открытие предохранительного клапана при отводе остаточного тепловыделения | | | X | X | X | | X | X | X | | | |
| S4.3 | утечка через теплообменник отвода остаточного тепла | | | X | X | X | X | X | X | X | | | |
| S5 | Утечка в бассейне выдержки отработавшего топлива | | | X | X | X | X | X | X | X | | | |
| Пожары и внутренние затопления | | | | | | | | | | | | | |
| B1 | Пожар внутри защитной оболочки | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| B2 | Пожар вне защитной оболочки | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| IF | Внутренние затопления | | | X | X | X | X | X | X | X | | | |

ТАБЛИЦА III-2. ИСХОДНЫЕ СОБЫТИЯ ПРИ ПРОСТОЯХ НА БАЗИСНОЙ СТАНЦИИ (с указанием потери критических функций безопасности или механизма запуска исходного события соответственно (продолжение)

| Исходное событие | | Эксплуатационное состояние станции | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--|------------------------------------|-----|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------|--|--|
| | | Останов | | Простой | | | | | | | | Повторный пуск | | |
| | | 2-1 | 2-2 | 3-1 | 3-2 | 3-3 | 3-4 | 3-5 | 3-6 | 3-7 | 4-1 | 4-2 | | |
| Аварии с возникновением критичности | | | | | | | | | | | | | | |
| K1 | Ошибочный подъем стержней управления | | | | | | X | | | | | | | |
| K2 | Ошибочное извлечение стержней управления | | | | | | X | | | | | | | |
| K3 | Ошибка при перегрузке топлива | | | | | | X | | | | | | | |
| Падение тяжелых грузов | | | | | | | | | | | | | | |
| H1 | Падение топливного элемента | | | | | | X | | | | | | | |
| H2 | Падение тяжелого груза | | | X | X | X | X | X | X | X | | | | |

ТАБЛИЦА III-3. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СОСТОЯНИЯ ПРИ ДВУХНЕДЕЛЬНОМ ПРОСТОЕ НА БАЗИСНОЙ СТАНЦИИ С РЕАКТОРОМ С ВОДОЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

| № | Изменения физического состояния/Характеристики системы |
|-------|--|
| (1)A0 | Снижение мощности до подкритического горячего состояния/Сигналы защиты реактора и готовность систем безопасности такие же, как и при работе на мощности |
| (1)A1 | Останов при снижении парогенераторами давления систем первого контура до 3,1 МПа и температуры первого контура до 120°С/Все системы защиты реактора в состоянии готовности |
| (1)B1 | Расхолаживание систем первого контура/Пуск системы отвода остаточного тепла при 120 °С, гидроемкости и насосы высокого давления отключены |
| (1)B2 | Снижение уровня до промежуточного контура, работа на промежуточном контуре/Активная зона в пределах корпуса реактора, системы первого контура герметично закрыты |

ТАБЛИЦА III-3. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СОСТОЯНИЯ ПРИ ДВУХНЕДЕЛЬНОМ ПРОСТОЕ НА БАЗИСНОЙ СТАНЦИИ С РЕАКТОРОМ С ВОДОЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ (продолжение)

| № | Изменения физического состояния/Характеристики системы |
|-------|---|
| (1)С | Открытие крышки корпуса реактора, работа на промежуточном контуре/ <i>Активная зона в пределах корпуса реактора, системы первого контура не герметично закрыты, шлюз перегрузки между бассейном выдержки и бассейном ревизии внутрикорпусных устройств закрыт</i> |
| (1)D | Затопление шахты реактора, выгрузка топливных элементов/ <i>Активная зона полностью или частично в пределах корпуса реактора, шлюз перегрузки открыт</i> |
| Е | Опорожнение шахты реактора и корпуса реактора/ <i>активная зона полностью разгружена, шлюз перегрузки закрыт, работа выполняется на нижнем уровне петли</i> |
| (2)D | Повторное заполнение шахты реактора, загрузка топливных элементов/ <i>Активная зона полностью или частично в пределах корпуса реактора, шлюз перегрузки открыт</i> |
| (2)С | Снижение уровня до уровня промежуточного контура, закрытие крышки корпуса реактора/ <i>Активная зона в пределах корпуса реактора, система первого контура не герметично закрыта, шлюз перегрузки закрыт</i> |
| (2)B2 | Опорожнение и повторное заполнение системы первого контура/ <i>Активная зона в пределах корпуса реактора, система первого контура не герметично закрыта</i> |
| (2)B1 | Разогрев системы первого контура главными циркуляционными насосами/ <i>Все системы защиты реактора в состоянии готовности</i> |
| (2)A1 | Удаление бора из теплоносителя и перевод реактора в критическое состояние/ <i>Извлечение стержней управления и/или удаление бора из теплоносителя</i> |
| (2)A0 | Повышение мощности до указанного уровня/ <i>Сигналы защиты реактора и готовность систем безопасности такие же, как и на работе на мощности</i> |

Примечание: (1) означает эксплуатационное состояние при останове, (2) означает эксплуатационное состояние при повторном пуске.

ТАБЛИЦА III-4. ИСХОДНЫЕ СОБЫТИЯ В РЕЖИМАХ НИЗКОЙ МОЩНОСТИ И ОСТАНОВА ДЛЯ РЕАКТОРА С ВОДОЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ (с указанием потери критических функций безопасности или механизма запуска исходного события соответственно)

| | Эксплуатационное состояние станции | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------------------------|----|----|----|------------------------|---|---|---|---|------------------------|----|----|----|--|
| Исходное событие | A0 | A1 | B1 | B2 | C | D | E | D | C | B2 | B1 | A1 | A0 | |
| Переходные режимы | Корпус реактора закрыт | | | | Корпус реактора открыт | | | | | Корпус реактора закрыт | | | | |
| Потеря предпочтительного энергоснабжения – внешнего | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | |
| Потеря предпочтительного энергоснабжения – внутреннего | | | | | | X | X | X | | | | | | |
| Потеря основной питательной воды без потери подачи основного тепла | X | X | | | | | | | | | | X | X | |
| Потеря основного теплоотвода без потери основной питательной воды | X | X | | | | | | | | | | X | X | |
| Потеря основной питательной воды и основного теплоотвода | X | X | | | | | | | | | | X | X | |
| Протечка паропровода вне защитной оболочки | X | X | | | | | | | | | | X | X | |
| Протечка паропровода внутри защитной оболочки | X | X | | | | | | | | | | X | X | |
| Протечка на линии питательной воды в здании турбины | X | X | | | | | | | | | | X | X | |
| Протечка линии питательной воды внутри защитной оболочки, неизолируемая | X | X | | | | | | | | | | X | X | |
| Потеря отвода остаточного тепловыделения, из-за: | | | | | | | | | | | | | | |
| — ошибочного снижения уровня | | | | X | | | | | X | | | | | |
| — сбой в эксплуатации нитки отвода остаточного тепловыделения | | | X | X | X | X | | X | X | X | | | | |
| Непреднамеренное включение сигналов системы аварийного охлаждения активной зоны | | | | X | | | | | | | | | | |

ТАБЛИЦА III-4. ИСХОДНЫЕ СОБЫТИЯ В РЕЖИМАХ НИЗКОЙ МОЩНОСТИ И ОСТАНОВА ДЛЯ РЕАКТОРА С ВОДОЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ (с указанием потери критических функций безопасности или механизма запуска исходного события соответственно) (продолжение)

| | Эксплуатационное состояние станции | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------------------------|----|----|----|------------------------|---|---|---|------------------------|----|----|----|----|--|
| Исходное событие | A0 | A1 | B1 | B2 | C | D | E | D | C | B2 | B1 | A1 | A0 | |
| Аварии с потерей теплоносителя | Корпус реактора закрыт | | | | Корпус реактора открыт | | | | Корпус реактора закрыт | | | | | |
| Малая протечка первого контура $A < 25 \text{ см}^2$ | X | X | X | | | | | | | | X | X | X | |
| Малая протечка первого контура $25 \text{ см}^2 < A < 200 \text{ см}^2$ | X | X | X | | | | | | | | X | X | X | |
| Непреднамеренное открытие предохранительного клапана компенсатора давления | X | X | X | | | | | | | | X | X | X | |
| Средняя протечка первого контура $200 \text{ см}^2 < A < 500 \text{ см}^2$ | X | X | X | | | | | | | | X | X | X | |
| Большая протечка первого контура $A > 500 \text{ см}^2$ | X | X | X | | | | | | | | X | X | X | |
| Непреднамеренное открытие P-bdV ^a из-за неисправности в ходе технического обслуживания | | X | X | X | | | | | | X | X | X | | |
| Непреднамеренное открытие P-bdV вследствие потери внешних источников энергоснабжения | X | X | X | | | | | | | | X | X | X | |
| Непреднамеренное открытие P-bdV после останова турбины | X | X | X | | | | | | | | X | X | X | |
| Протечка трубы парогенератора | X | X | X | | | | | | | | X | X | X | |
| Протечка системы отвода остаточного тепловыделения внутри защитной оболочки | | | X | X | X | X | X | X | X | X | | | | |
| Протечка системы отвода остаточного тепловыделения в межоболочечное пространство | | | X | X | X | X | X | X | X | X | | | | |
| Протечка системы продувки-подпитки первого контура | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | |
| Протечка шахты / бассейна выдержки | | | | | | X | | X | | | | | | |
| Протечка в смежные системы | | | X | X | X | X | X | X | X | X | | | | |

ТАБЛИЦА III-4. ИСХОДНЫЕ СОБЫТИЯ В РЕЖИМАХ НИЗКОЙ МОЩНОСТИ И ОСТАНОВА ДЛЯ РЕАКТОРА С ВОДОЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ (с указанием потери критических функций безопасности или механизма запуска исходного события соответственно) (продолжение)

| | Эксплуатационное состояние станции | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------------------------|----|----|----|------------------------|---|---|---|---|------------------------|----|----|----|--|
| Исходное событие | A0 | A1 | B1 | B2 | C | D | E | D | C | B2 | B1 | A1 | A0 | |
| Непредвиденная деборация | Корпус реактора закрыт | | | | Корпус реактора открыт | | | | | Корпус реактора закрыт | | | | |
| Протечки из системы с неборированной водой | | | | | | | | | | | | | | |
| —Протечка трубки парогенератора | | | X | X | X | X | X | X | X | X | X | | | |
| — Протечки теплообменника отведения остаточного тепловыделения | | | X | X | X | X | X | X | X | X | X | | | |
| — Протечка уплотнения подшипника | | | X | X | X | X | X | X | X | X | X | | | |
| — Непреднамеренный впрыск в первый контур | | | X | X | X | X | X | X | X | X | X | | | |
| Непреднамеренное наличие неборированной воды в системе отвода остаточного тепловыделения | | | X | X | X | X | X | X | X | X | X | | | |
| Разбавление бора при дезактивации | | | | | | | | | X | | | | | |
| Разбавление бора при повышении уровня | | | | | | | | | | X | | | | |
| Сбой борирования при останове | | X | | | | | | | | | | | | |
| Непреднамеренное разбавление бора при останове после потери главных циркуляционных насосов | | | | | | | | | | | | X | | |

^a P-bdV означает клапан продувок компенсатора давления

ПРИМЕРЫ ТРЕБОВАНИЙ К МОДЕЛИРОВАНИЮ КОНКРЕТНЫХ СИСТЕМ

III-7. Документ [III-8] является основным и почти исключительным источником для примеров, приведенных в пунктах III-8 - III-10.

III-8. Некоторые системы могут требовать специфического моделирования для условий эксплуатации на низкой мощности и останова. Например, системы охлаждения бассейна выдержки могут быть не включены в анализ условий эксплуатации на полной мощности, но могут быть важны для условий останова. Определенные режимы эксплуатации системы отвода остаточного тепловыделения могут также использоваться только при простоях, и поэтому должны учитываться. Модели системы должны отражать режимы эксплуатации и конкретные настройки систем. Критерии успеха, например, требование *k* из *n* ниток конкретной системы, могут быть менее жесткими для условий эксплуатации на низкой мощности и останова вследствие более низкого уровня остаточного тепловыделения. Для определения этих критериев требуется проведение детальных термогидравлических расчетов.

Функции автоматического пуска системы в условиях эксплуатации на низкой мощности и останова могут быть шунтированы с целью предотвращения непреднамеренного пуска. Например, системы обеспечения безопасности путем впрыска могут быть заблокированы с точки зрения режима автоматического пуска с целью предотвращения их срабатывания при останове. Таким образом, логика контроля в дереве отказов должна быть изменена для отражения того факта, что системы должны быть при необходимости включены вручную. Должны быть также разработаны модели соответствующего взаимодействия между людьми.

III-9. Действия, выполняемые вручную и расписываемые в анализе для условий работы на полной мощности, могут быть невозможными во время простоя вследствие выполнения текущих работ, являющихся частью простоя. Например, совместная работа систем низкого давления может являться адекватным действием при работе на полной мощности. Однако при простое такая работа может быть заблокирована/закрыта, или цепочка системы может быть полностью отключена. Поэтому в случае, если действия такого типа включены в деревья отказов для эксплуатации на полной мощности, их необходимо изменить для оценки режимов низкой мощности и останова. В целом, каждое дерево отказов при ВОБ для условий полной мощности, адаптированное под ВОБ, для режимов останова, необходимо рассматривать для каждого эксплуатационного состояния станции с целью определения того, имеются ли какие-либо особенности этого эксплуатационного состояния станции, которые могут повлиять на логику структуры этого дерева отказов.

III-10. Изменяющиеся уровни готовности различных систем при простое усложняют задачу моделирования систем. Некоторые системы или части систем могут не находиться в состоянии готовности при определенных эксплуатационных состояниях. Также может изменяться вероятность отказа элемента, представленного основным событием. Большинство пакетов программного обеспечения для ВОБ основано на «алгоритме быстрого сечения», который выстраивает и сохраняет уравнения для минимальных сечений. Анализ минимальных сечений может выполняться на нескольких уровнях: конкретный элемент дерева неисправностей, последовательность отдельного дерева событий или определенная последовательность (каждая последовательность дерева событий может иметь одно и более последствий, например, состояние повреждения станции). При анализе может задаваться «набор граничных условий», включающий перечень значений или изменений, применяемых к модели. Установленные граничные условия могут включать истинные/ложные установки для логических переключателей, задание вероятностей происхождения основных событий или логических элементов

дерева неисправностей и установку значений параметров. Это весьма полезно для выполнения анализов одной и той же основной модели с различными вариантами в зависимости от эксплуатационного состояния станции. Конечно же, возможно выполнить анализ без использования логических ключей, но тогда для каждого заданного граничного состояния к полной модели ВОБ для режимов останова добавляются различные отдельные модели дерева неисправностей, что усложняет усилия, необходимые для моделирования и рассмотрения в случае необходимости внесения изменений ввиду числа подлежащих рассмотрению различных моделей дерева неисправностей.

ПОДХОД К ВЫЯВЛЕНИЮ АНТРОПОГЕННЫХ ДЕЙСТВИЙ, ПРЕДШЕСТВУЮЩИХ ИСХОДНЫМ ЯВЛЕНИЯМ, ОТНОСЯЩИХСЯ К ВОБ ДЛЯ РЕЖИМОВ НИЗКОЙ МОЩНОСТИ И ОСТАНОВА

III-11. Поскольку детальный анализ всех мер, которые могут быть предприняты персоналом в режимах низкой мощности и останова, не осуществим, требуется осуществление этапа эффективного скрининга действий, предшествующих исходным явлениям. Результатом такого этапа будет являться перечень действий с изложением действий, по которым достаточна качественная оценка, действий, для которых необходимо выполнение оценки, и действий, для которых необходим детальный количественный анализ. Подход, описанный в пунктах III-12 - III-18, изложен в [III-6].

III-12. Основой подхода к скринингу является перечень основных этапов и заданий для стандартного плана простоя на конкретной станции. Очевидно, что существует тесная связь между этим перечнем и эксплуатационным состоянием станции, выбранным для ВОБ в режимах низкой мощности и останова. Для реактора с кипящей водой он обычно включает 30 этапов или заданий. В [III-6] приводится в качестве примера следующий перечень основных этапов и заданий:

- провести снижение мощности;
- начать испытания по останову станции и отсечению систем;
- отключить генератор от энергосети;
- продолжить снижение мощности до начала отвода остаточного тепла;
- открыть защитную оболочку для перегрузки топлива;
- открыть корпус реактора;
- установить компенсатор для заводнения шахты реактора;
- начать заводнение;
- выполнить работы на корпусе реактора;

- снять осушитель пара;
- установить заглушки и пластины;
- выполнить работы по резервным ниткам;
- выполнить работы по компонентам и системам;
- выполнить испытания на протечки;
- заменить топливные элементы;
- снять и переустановить разбрызгиватели питательной воды;
- снять заглушки и пластины;
- установить осушитель;
- опорожнить затопленную шахту;
- снять компенсатор;
- закрыть корпус реактора;
- закрыть защитную оболочку;
- выполнить испытания в отношении пуска;
- выполнить подъем мощности;
- синхронизировать подключение генератора к сети;
- выполнить выход на полную мощность.

III-13. Для элементов этого перечня проводятся эмпирические оценки, которые включают, например, обходы станции, контроль рабочей среды, и выполняются задачи по выявлению потенциальных антропогенных ошибок и последствий. Далее оценивается значимость каждой потенциальной ошибки. При выявлении возможных последствий проводится различие между неготовностью элементов или частей систем, с одной стороны, и исходными событиями, с другой.

III-14. В первом случае проводится оценка того, каким образом может быть выявлен отказ, являющийся результатом временной неготовности или скрытых дефектов, и для каких исходных событий эта неготовность или скрытые дефекты становятся очевидными. В конце концов, описываются соответствующие контрмеры и последствия.

III-15. Во втором случае классифицируется исходное событие (например, авария с потерей теплоносителя). Вновь описываются возможные соответствующие контрмеры и последствия.

III-16. Одной из важных задач такого анализа является подготовка, прозрачным и систематическим образом, таблицы, включающей результаты всего скрининга. Включаются сведения об опыте эксплуатации, имеющем отношение к потенциальным ошибкам или последствиям.

III-17. В случае, если представляется необходимым проведение детального анализа, он может быть проведен с использованием подходов к анализу надежности оператора, описанных в разделе 5.

III-18. В качестве промежуточного случая, для групп исходных событий сходного характера (например, аварий с потерей теплоносителя с протечкой над активной зоной), может быть достаточно проведение грубой оценки общей вероятности появления отказа.

ПРИМЕР ПРОФИЛЯ РИСКА ПРИ ПРОСТОЕ КАК РЕЗУЛЬТАТА ВОБ ДЛЯ РЕЖИМОВ НИЗКОЙ МОЩНОСТИ ИЛИ ОСТАНОВА ДЛЯ СТАНЦИИ С РЕАКТОРОМ С КИПАЮЩЕЙ ВОДОЙ

III-19. В [III-9] представлены результаты ВОБ для режимов низкой мощности или останова на станции с реактором с кипящей водой. Задаются шесть эксплуатационных состояний станции («POS» на рис. III-2 и III-3):

- 1) эксплуатационное состояние станции 1: эксплуатация на мощности и пуск с давлением от проектных условий (71 кг/см^2) до 35 кг/см^2 и тепловой мощностью не более 15%;
- 2) эксплуатационное состояние станции 2: пуск и горячий останов с давлением от 35 кг/см^2 до 10 кг/см^2 ;
- 3) эксплуатационное состояние станции 3: горячий останов с давлением ниже 10 кг/см^2 и температурой выше 93°C ;
- 4) эксплуатационное состояние станции 4: холодный останов с температурой ниже 93°C до снятия крышки корпуса;
- 5) эксплуатационное состояние станции 5: перегрузка со снятой крышкой корпуса и уровнем воды, повышенным до уровня паропроводов;
- 6) эксплуатационное состояние станции 6: перегрузка со снятой крышкой корпуса и уровнем воды, повышенным до уровня в бассейне выдержки отработанного топлива, и открытой трубой перегрузки.

III-20. На рис. III-2 показаны тепловая мощность и давление в первом контуре как функция времени для эксплуатационных состояний станции 1-4. На рис. III-3 показан профиль риска для эксплуатационных состояний станции 1-4. Очевидно, что риск в эксплуатационном состоянии станции 4 является самым высоким в сравнении с риском в других эксплуатационных состояниях станции. Этот пример подчеркивает важность данных, полученных с помощью профиля риска, что позволяет организовать усилия по повышению безопасности.

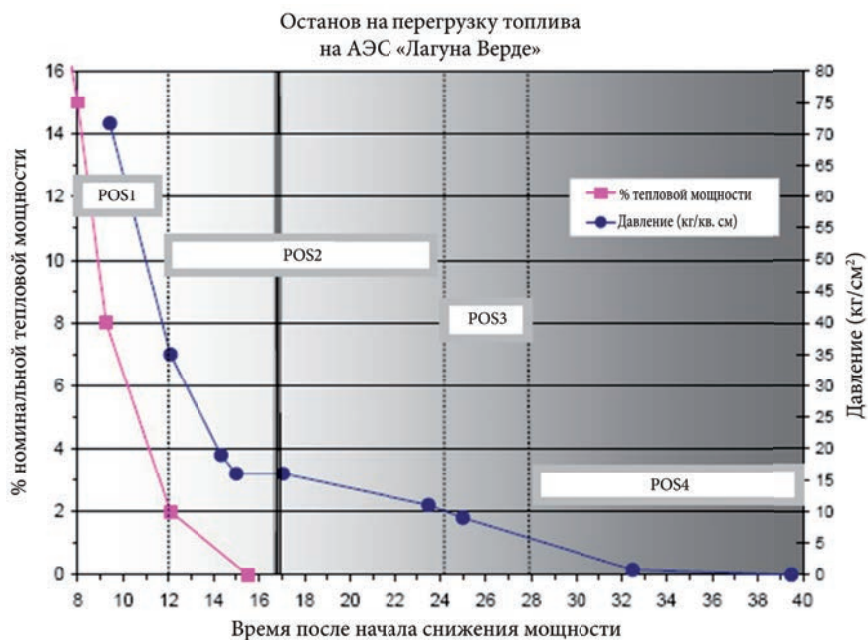


РИС. III-2. Эксплуатационное состояние станции в ВОБ для режимов низкой мощности и останова на АЭС «Лагуна Верде». POS: Эксплуатационное состояние станции.

ЧАСТОТА ПОВРЕЖДЕНИЯ АКТИВНОЙ ЗОНЫ В РЕЖИМАХ НИЗКОЙ МОЩНОСТИ И ОСТАНОВА

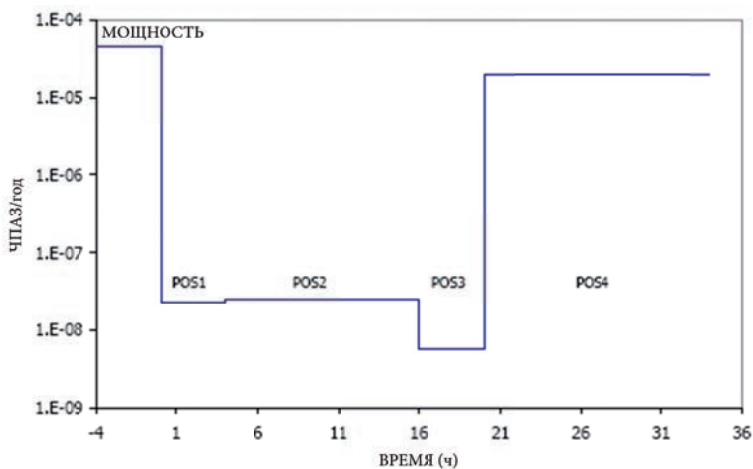


РИС. III-3. Сравнение частоты повреждения активной зоны (ЧПАЗ) в год при ВОБ для состояний полной мощности и режимов низкой мощности и останова. POS: эксплуатационное состояние станции.

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ К ПРИЛОЖЕНИЮ III

- [III-1] BABST, S., et al., “Insights and results of the shutdown PSA for a German SWR 69 type reactor”, Probabilistic Safety Assessment and Management (Proc. 8th Int. Conf. New Orleans, 2006), ASME, New York (2006).
- [III-2] MÜLLER-ECKER, D., MAYER, G., GASSMANN, D., “Probabilistic safety analysis for a modern 1300-MW_E pressurized water reactor under low-power and shut-down conditions”, Probabilistic Safety Assessment and Management (Proc. 6th Int. Conf. San Juan, Puerto Rico, 2002), Elsevier Science, Oxford (2002).
- [III-3] COOPERATIVE PROBABILISTIC RISK ASSESSMENT PROGRAM (COOPRA), Cooperative Probabilistic Risk Analysis, Low Power Shutdown Working Group, Status Report, October 2001, Idaho National Engineering and Environmental Laboratory, Idaho Falls (2001).
- [III-4] COOPERATIVE PROBABILISTIC RISK ASSESSMENT PROGRAM (COOPRA), Cooperative Probabilistic Risk Analysis, Low Power Shutdown Working Group, Initiating Events - Summary, July 2004, Idaho National Engineering and Environmental Laboratory, Idaho Falls (2004).
- [III-5] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, Bekanntmachung des Leitfadens zur Durchführung der “Sicherheitsüberprüfung gemäß §19a des Atomgesetzes — Leitfaden Probabilistische Sicherheitsanalyse” für Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland vom 30. August 2005, Bundesanzeiger **207a** (3 November 2005).
- [III-6] FACHARBEITSKREIS PROBABILISTISCHE SICHERHEITSANALYSE FÜR KERNKRAFTWERKE, Methoden zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke, BfS-SCHR-37/05, Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter (2005).
- [III-7] FACHARBEITSKREIS PROBABILISTISCHE SICHERHEITSANALYSE FÜR KERNKRAFTWERKE, Daten zur probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke, BfS-SCHR-38/05, Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter (2005).
- [III-8] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Probabilistic Safety Assessments of Nuclear Power Plants for Low Power and Shutdown Modes, IAEA-TECDOC-1144, IAEA, Vienna (2000).
- [III-9] ESQUIVEL TORRES, J.L., LÓPEZ MORONES, R., “Probabilistic safety assessment for low-power and shutdown states for LVNPP”, Probabilistic Safety Assessment and Management (Proc. 8th Int. Conf. New Orleans, 2006), ASME, New York (2006).

СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ

| | |
|------------------|---|
| Alzbutas, R. | Литовский энергетический институт, Литва |
| Bagdonas, A. | Игналинская атомная электростанция, Литва |
| Berg, P. | Федеральная служба радиационной защиты, Германия |
| 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 |
| Fujimoto, H. | Организация по безопасности ядерной энергетики Японии, Япония |
| Goertz, R. | Федеральная служба радиационной защиты, Германия |
| Hari, V. | «Ньюклеар пауэр корпорейшн оф Индия», Индия |
| Hessel, P. | Комиссия по ядерной безопасности Канады, Канада |
| Hlavac, P. | «Релко лтд.», Словакия |
| Husarcek, J. | Управление по ядерному регулированию Словацкой Республики, Словакия |
| Hustak, S. | Институт ядерных исследований, Ржеж, Чешская Республика |
| Kajimoto, M. | Организация по безопасности ядерной энергетики Японии, Япония |
| Kirchsteiger, C. | Европейская комиссия |
| Kivirinta, T. | «Фортум пауэр энд хит ои», Финляндия |
| Kompella, D. | Швейцарская федеральная инспекция по ядерной безопасности, Швейцария |

| | |
|---------------|---|
| Кузьмина, И. | Международное агентство по атомной энергии |
| Kovacs, Z. | «Релко лтд.», Словакия |
| Loeffler, H. | Общество по безопасности установок и реакторов, Германия |
| Lopez, A. | Национальная комиссия по ядерной безопасности и гарантиям, Мексика |
| Любарский, А. | Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности, Российская Федерация |
| Mancheva, K. | «Риск инжиниринг лтд.», Болгария |
| Niemelä, I. | Управление по радиационной и ядерной безопасности, Финляндия |
| Palmaerts, S. | «Трактебель инжиниринг», Бельгия |
| Papazov, V. | Атомная электростанция «Козлодуй», Болгария |
| Parry, G. | Комиссия по ядерному регулированию, Соединенные Штаты Америки |
| Rogers, P. | «Роллс-Ройс», Соединенное Королевство |
| Röwekamp, M. | Общество по безопасности установок и реакторов, Германия |
| Shepherd, C. | «Корпорат риск ассошиэйтс», Соединенное Королевство |
| Sorel, V. | «Электрисите де Франс», СЕПТЕН, Отдел ядерной техники, Франция |
| Taglioni, A. | ЭНЕА, Италия |
| Токмачев, Г. | «Атомэнергопроект», Российская Федерация |
| Tronea, M. | Национальная комиссия по контролю за ядерной деятельностью, Румыния |
| Tudor, C. | Атомная электростанция «Чернаводэ», Румыния |
| Varde, P. | Центр атомных исследований им. Бхабхи, Индия |

| | |
|--------------------|---|
| Yang, J. | Корейский научно-исследовательский институт атомной энергии, Республика Корея |
| Yang, Zhichao | Китайский научно-исследовательский институт технологий ядерной энергетики, Китай |
| Yli-Kauhaluoma, M. | Атомная электростанция «Ловийса», Финляндия |
| 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: Hyun-Koon 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.; ***Сапардона:* 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.

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 978-92-0-406014-0
ISSN 1020-5845