



IAEA

Международное агентство по атомной энергии

Нормы безопасности МАГАТЭ

№ SSG-3 (Rev. 1)

для защиты людей и охраны окружающей среды

Разработка и применение вероятностного анализа безопасности уровня 1 для атомных электростанций

СПЕЦИАЛЬНОЕ РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ

НОРМЫ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ И ДРУГИЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ДАННОЙ ТЕМЕ

НОРМЫ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ

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

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

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

www.iaea.org/ru/resursy/normy-bezopasnosti

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

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

ПУБЛИКАЦИИ ПО ДАННОЙ ТЕМЕ

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

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

Другие публикации МАГАТЭ по вопросам безопасности выпускаются в качестве публикаций по **аварийной готовности и реагированию, докладов по радиологическим оценкам, докладов ИНСАГ** — Международной группы по ядерной безопасности, **технических докладов** и документов серии **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
ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА
БЕЗОПАСНОСТИ УРОВНЯ 1
ДЛЯ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Членами Международного агентства по атомной энергии являются следующие государства:

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

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

СЕРИЯ НОРМ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ, № SSG-3 (Rev. 1)

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ
ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА
БЕЗОПАСНОСТИ УРОВНЯ 1
ДЛЯ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

СПЕЦИАЛЬНОЕ РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ

МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
ВЕНА, 2025 ГОД

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКОМ ПРАВЕ

Все научные и технические публикации МАГАТЭ защищены положениями Всемирной конвенции об авторском праве, принятой в 1952 году (Женева) и пересмотренной в 1971 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, может потребоваться разрешение. Более подробная информация приводится на странице <https://www.iaea.org/ru/publikacii/prava-i-razresheniya>. Вопросы следует направлять по адресу:

Издательская секция (Publishing Section)
Международное агентство по атомной энергии
Венский международный центр
а/я 100
1400 Вена, Австрия
тел.: +43 1 2600 22529 или 22530
эл. почта: sales.publications@iaea.org
<https://www.iaea.org/ru/publikacii>

© МАГАТЭ, 2025
Отпечатано МАГАТЭ в Австрии
Май 2025 года
STI/PUB/2056

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ
ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА
БЕЗОПАСНОСТИ УРОВНЯ 1
ДЛЯ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
МАГАТЭ, ВЕНА, 2025 ГОД
STI/PUB/2056
ISBN 978-92-0-433724-2 (печатный формат)
ISBN 978-92-0-433824-9 (формат pdf)
ISBN 978-92-0-433924-6 (формат epub)
ISSN 1020-5845

ПРЕДИСЛОВИЕ

Рафаэль Мариано Гросси
Генеральный директор

Согласно своему Уставу, МАГАТЭ уполномочивается «устанавливать... нормы безопасности для охраны здоровья и сведения к минимуму опасности для жизни и имущества». Речь идет о нормах, которые МАГАТЭ должно применять в отношении своей собственной деятельности и которые государства могут применять в рамках своих национальных регулирующих положений.

Программа норм безопасности МАГАТЭ была начата в 1958 году, и с тех пор произошло много изменений. Как Генеральный директор я разделяю стремление к тому, чтобы МАГАТЭ и далее поддерживало и совершенствовало эту всеобъемлющую, многогранную и последовательную серию изданий, в которой выходят актуальные, удобные для пользователя и соответствующие поставленным целям нормы безопасности, неизменно высокого качества. Их надлежащее применение при использовании ядерной науки и технологий позволит достичь высоких стандартов защиты людей и окружающей среды во всем мире и обеспечить необходимую уверенность для непрерывного использования ядерных технологий ради всеобщего блага.

Обеспечение безопасности относится к сфере ответственности государства, что закреплено в ряде международных конвенций. Нормы безопасности МАГАТЭ составляют основу этих правовых документов и служат глобальным источником информации, которым могут руководствоваться стороны при выполнении своих обязательств. Хотя нормы безопасности не имеют для государств-членов обязательной юридической силы, они широко применяются на практике. Они выполняют функцию незаменимого источника информации и общего знаменателя для подавляющего большинства государств-членов, которые внедрили эти нормы в свои национальные регулирующие положения в целях укрепления безопасности на ядерных энергетических установках, исследовательских реакторах и установках топливного цикла, а также в области применения ядерных технологий в медицине, промышленности, сельском хозяйстве и научных исследованиях.

Нормы безопасности МАГАТЭ обобщают практический опыт государств-членов и подготовлены на основе международного консенсуса. Особенно важное значение имеет то, что в их разработке принимают участие члены профильных комитетов по нормам безопасности, Комитета по

руководящим материалам по физической ядерной безопасности и Комиссии по нормам безопасности, и я признателен всем тем, кто привносит в эту деятельность свои знания и опыт.

Со своей стороны МАГАТЭ также опирается на эти нормы безопасности, когда оказывает помощь государствам-членам в рамках своих миссий по экспертной оценке и консультационных услуг. Это облегчает государствам-членам применение данных норм на практике и создает условия для обмена ценным опытом и аналитическими наработками. Нормы безопасности периодически пересматриваются с учетом отзывов, полученных по итогам соответствующих миссий и услуг, уроков, извлеченных в результате тех или иных событий, а также опыта работы с такими материалами.

Я убежден, что нормы безопасности МАГАТЭ, как и практика их применения, вносят неоценимый вклад в обеспечение высокого уровня безопасности во всех сферах, где используются ядерные технологии. Я призываю все государства-члены способствовать более широкому применению этих норм и сотрудничать с МАГАТЭ в интересах поддержания их качества как в реалиях сегодняшнего дня, так и в будущем.

НОРМЫ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

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

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

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

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

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

Глобальный режим ядерной безопасности постоянно совершенствуется. Нормы безопасности МАГАТЭ, которые поддерживают осуществление имеющих обязательную силу международных договорно-правовых документов и функционирование национальных инфраструктур безопасности, являются краеугольным камнем этого глобального режима. Нормы безопасности МАГАТЭ представляют собой полезный инструмент,

с помощью которого договаривающиеся стороны оценивают свою деятельность по выполнению этих конвенций.

НОРМЫ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ

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

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

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

Нормы безопасности МАГАТЭ отражают международный консенсус в отношении того, что является основой высокого уровня безопасности для защиты людей и охраны окружающей среды от вредного воздействия

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

ионизирующего излучения. Они выпускаются в Серии норм безопасности МАГАТЭ, которая состоит из документов трех категорий (см. рис. 1).

Основы безопасности

Основы безопасности представляют основополагающие цели и принципы защиты и безопасности и служат основой для требований безопасности. Принципы выражаются формулировками «должен, должна, должно, должны».

Требования безопасности

Требования безопасности определяются целями и принципами, изложенными в Основах безопасности. Они устанавливают требования, которые необходимо выполнять для обеспечения защиты людей и охраны окружающей среды как в настоящее время, так и в будущем. Формат и стиль изложения требований безопасности облегчают их использование



РИС. 1. Долгосрочная структура Серии норм безопасности МАГАТЭ.

для создания национальной нормативной базы регулирования. Требования представляются как «всеобъемлющие» требования² с выделением жирным шрифтом и указанием номеров соответствующих требований; все они одинаково важны и выражаются формулировками с глаголами в настоящем времени.

Руководства по безопасности

В руководствах по безопасности содержатся рекомендации, касающиеся выполнения требований безопасности, и в них выражается международный консенсус в отношении необходимости принятия рекомендуемых мер (или альтернативных мер, которые обеспечивают аналогичный уровень защиты). В руководствах по безопасности представлена международная надлежащая практика и во все большей степени наилучшая практика. Рекомендации, содержащиеся в руководствах по безопасности, выражаются формулировками «следует».

ПРИМЕНЕНИЕ НОРМ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ

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

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

² Правила безопасной перевозки радиоактивных материалов МАГАТЭ не содержат всеобъемлющих требований.

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

Кроме того, нормы безопасности МАГАТЭ формируют основу для услуг МАГАТЭ по рассмотрению безопасности, и они используются МАГАТЭ для повышения компетентности, включая разработку учебных планов и проведение учебных курсов.

Международные конвенции содержат требования, которые аналогичны требованиям, изложенным в нормах безопасности МАГАТЭ, и являются обязательными для договаривающихся сторон. Нормы безопасности МАГАТЭ, подкрепляемые международными конвенциями, отраслевыми стандартами и подробными национальными требованиями, создают прочную основу для защиты людей и охраны окружающей среды. Существуют также некоторые особые вопросы безопасности, требующие оценки на национальном уровне. Например, многие нормы безопасности МАГАТЭ, особенно нормы, посвященные вопросам планирования или разработки мер по обеспечению безопасности, предназначаются, прежде всего, для применения к новым установкам и видам деятельности. На некоторых существующих установках, сооруженных в соответствии с нормами, принятыми ранее, невозможно выполнять в полном объеме требования, установленные в нормах безопасности МАГАТЭ. Вопрос о том, как нормы безопасности МАГАТЭ должны применяться на таких установках, решают сами государства.

Научные соображения, лежащие в основе норм безопасности МАГАТЭ, обеспечивают объективную основу для принятия решений по вопросам безопасности; однако органы, отвечающие за принятие решений, должны также выносить обоснованные суждения, а также должны определять, как обеспечить оптимальный баланс между пользой от принимаемых мер или осуществляемых мероприятий и связанными с ними радиационными рисками и любыми иными негативными последствиями применения этих мер или мероприятий.

ПРОЦЕСС РАЗРАБОТКИ НОРМ БЕЗОПАСНОСТИ МАГАТЭ

Подготовкой и рассмотрением норм безопасности занимаются Секретариат МАГАТЭ и пять комитетов по нормам безопасности, охватывающих аварийную готовность и реагирование (ЭПРеСК), ядерную безопасность (НУССК), радиационную безопасность (РАССК),

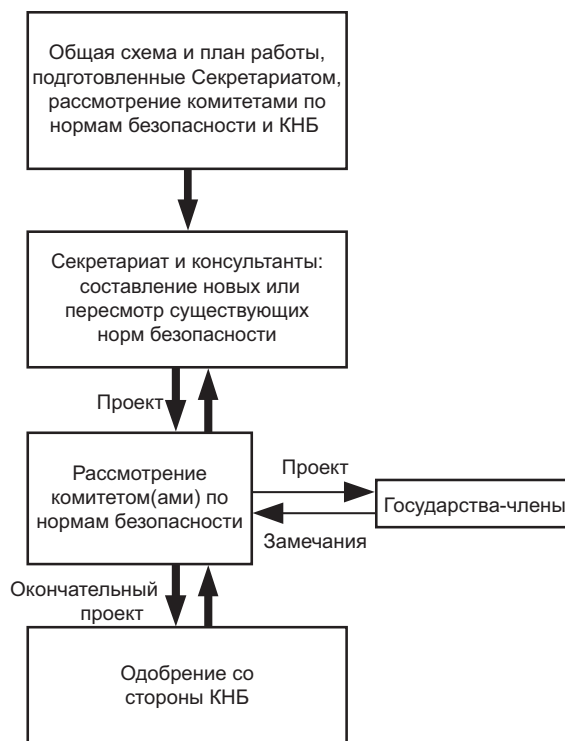


РИС. 2. Процесс разработки новых норм безопасности или пересмотр существующих норм.

безопасность радиоактивных отходов (ВАССК) и безопасную перевозку радиоактивных материалов (ТРАНССК), а также Комиссия по нормам безопасности (КНБ), которая осуществляет надзор за программой по нормам безопасности МАГАТЭ (см. рис. 2).

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

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

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ДРУГИМИ МЕЖДУНАРОДНЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ

При разработке норм безопасности МАГАТЭ учитываются выводы Научного комитета 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 ядерной и физической безопасности термины следует понимать так, как они представлены в Глоссарии МАГАТЭ по ядерной и физической безопасности (см. <https://www.iaea.org/resources/publications/iaea-nuclear-safety-and-security-glossary>). Во всех остальных случаях в издании на английском языке слова используются с написанием и значением, приведенными в последнем издании Краткого оксфордского словаря английского языка. Для руководств по безопасности аутентичным текстом является английский вариант.

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

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

Дополнение, если оно включено, рассматривается в качестве неотъемлемой части норм безопасности. Материал в дополнении имеет тот же статус, что и основной текст, и МАГАТЭ берет на себя авторство в отношении такого материала. Приложения и сноски к основному тексту, если они включены, используются для предоставления практических примеров или дополнительной информации или пояснений. Приложения

и сноски не являются неотъемлемой частью основного текста. Материал в приложениях, опубликованный МАГАТЭ, не обязательно выпускается в качестве его авторского материала; в приложениях к нормам безопасности может быть представлен материал, имеющий другое авторство. Посторонний материал, публикуемый в приложениях, приводится в виде выдержек и адаптируется по мере необходимости, с тем чтобы быть в целом полезным.

СОДЕРЖАНИЕ

1.	ВВЕДЕНИЕ	1
	Общие сведения (1.1–1.7)	1
	Цель (1.8–1.10)	5
	Область применения (1.11–1.15)	6
	Структура (1.16)	7
2.	ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ВЫПОЛНЕНИЕМ И ПРИМЕНЕНИЕМ ВАБ (2.1)	8
	Объем выполнения ВАБ (2.2–2.4)	8
	Валидация и проверка ВАБ (2.5, 2.6)	10
	Текущий ВАБ (2.7–2.9)	11
	Вероятностные цели или критерии безопасности (2.10–2.15) ...	12
	Использование ВАБ при принятии решений (2.16–2.25)	14
3.	УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТОМ И ОРГАНИЗАЦИЯ ВАБ	17
	Определение целей и объема проекта ВАБ (3.1, 3.2)	17
	Управление проектом ВАБ (3.3–3.9)	18
	Выбор методов и установление процедур (3.10, 3.11)	20
	Подбор и организация группы (3.12–3.14)	20
	Организация программы обеспечения качества ВАБ (3.15, 3.16)	21
	Общие аспекты документации ВАБ (3.17–3.25)	22
4.	ОЗНАКОМЛЕНИЕ СО СТАНЦИЕЙ И СБОР ИНФОРМАЦИИ (4.1–4.4)	24
5.	ВАБ УРОВНЯ 1 ДЛЯ ВНУТРЕННИХ ИСХОДНЫХ СОБЫТИЙ ПРИ РАБОТЕ СТАНЦИИ НА НОМИНАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ (5.1)	26
	Общие аспекты методологии ВАБ уровня 1 (5.2–5.10)	26
	Анализ исходных событий (5.11–5.40)	29
	Анализ аварийных последовательностей (5.41–5.69)	36
	Анализ систем (5.70–5.86)	44
	Анализ зависимых отказов (5.87–5.92)	48

Анализ отказов по общей причине (5.93–5.96)	50
Анализ надежности персонала (5.97–5.122)	51
Прочие вопросы моделирования (5.123–5.142)	59
Данные для ВАБ уровня 1 (5.143–5.159)	65
Количественная оценка в рамках анализа (5.160–5.170)	68
Анализ значимости, исследования чувствительности и анализ неопределенностей (5.171–5.181)	71
 6. ОБЩАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ВАБ УРОВНЯ 1 ДЛЯ ВНУТРЕННИХ ОПАСНОСТЕЙ И ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ	 74
Введение (6.1–6.3)	74
Процесс анализа (6.4–6.6)	76
Сбор исходной информации (6.7, 6.8)	78
Идентификация опасностей (6.9–6.16)	79
Скрининг единичных опасностей и сочетаний опасностей (6.17–6.27)	82
 7. ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ВАБ УРОВНЯ 1 ДЛЯ ВНУТРЕННИХ ОПАСНОСТЕЙ	 85
Введение (7.1, 7.2)	85
Граничная оценка в рамках ВАБ уровня 1 для внутренних опасностей (7.3–7.14)	86
Анализ внутренних пожаров (7.15–7.71)	89
Анализ внутреннего затопления (7.72–7.107)	108
Анализ других внутренних опасностей (7.108–7.133)	119
 8. ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ВАБ УРОВНЯ 1 ДЛЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ	 124
Введение (8.1, 8.2)	124
Граничная оценка в рамках ВАБ уровня 1 для внешних опасностей (8.3–8.22)	126
Определение параметров внешних опасностей (8.23–8.35)	132
Детальный анализ внешних опасностей (8.36–8.38)	135
Оценка частоты возникновения внешних опасностей (8.39–8.65)	136
Анализ неустойчивости конструкций, систем и элементов (8.66–8.91)	141

Включение внешних опасностей в модель ВАБ	
уровня 1 (8.92–8.112)	146
Документирование и представление результатов (8.113–8.123) . .	152
9. ВАБ УРОВНЯ 1 ДЛЯ СОСТОЯНИЙ ОСТАНОВА	156
Общие аспекты ВАБ уровня 1 для состояний	
останова (9.1–9.3)	156
Характеристика типов отключения и эксплуатационных	
состояний станции (9.4–9.11)	158
Анализ исходных событий (9.12–9.24)	161
Анализ аварийных последовательностей (9.25–9.35)	165
Системный анализ (9.36)	169
Анализ зависимых отказов (9.37–9.41)	170
Анализ надежности персонала (9.42–9.51)	171
Оценка данных (9.52–9.60)	175
Количественная оценка аварийных	
последовательностей (9.61, 9.62)	177
Анализ неопределенностей, анализ значимости	
и исследования чувствительности (9.63–9.65)	177
Документирование и представление результатов (9.66–9.76)	178
10. ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ВАБ УРОВНЯ 1	
ДЛЯ БАСЕЙНА ВЫДЕРЖКИ ОТРАБОТАВШЕГО	
ТОПЛИВА (10.1)	181
Нежелательные конечные состояния (10.2–10.6)	181
Эксплуатационные состояния станции (10.7, 10.8)	182
Исходные события (10.9)	183
Анализ аварийных последовательностей (10.10–10.15)	184
Анализ надежности персонала (10.16–10.19)	185
Количественная оценка результатов анализа (10.20)	186
Интерпретация результатов (10.21–10.23)	186
11. ВАБ УРОВНЯ 1 ДЛЯ МНОГООБЛОЧНЫХ АЭС (11.1, 11.2)	187
Объем ВАБ для многоблочной станции (11.3, 11.4)	187
Показатели риска в рамках ВАБ для многоблочной	
станции (11.5)	188
Эксплуатационные состояния станции (11.6–11.9)	189
Анализ исходных событий (11.10–11.12)	190

Системный анализ (11.13–11.16)	190
Анализ надежности персонала (11.17–11.20)	191
Отказ по общей причине и корреляции неустойчивости к опасности (11.21, 11.22)	191
Количественная оценка профиля риска в рамках ВАБ для многоблочных станций (11.23–11.26)	192
12. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ФОРМЫ ПРИМЕНЕНИЯ	
ВАБ УРОВНЯ 1	193
Общие аспекты применения ВАБ (12.1–12.12)	193
Объем применений ВАБ уровня 1 (12.13–12.16)	196
Риск-ориентированный подход (12.17–12.18)	197
Использование ВАБ для оценки проекта (12.19–12.46)	198
Использование ВАБ для оптимизации инспекций, испытаний и технического обслуживания (12.47–12.79)	207
Классификация конструкций, систем и элементов на основе риск-ориентированного подхода (12.80–12.86)	216
Мониторинг и управление конфигурацией риска (12.87–12.101)	219
Оценочные показатели безопасности на основе информации о рисках (12.102–12.106)	222
Анализ событий на основе ВАБ (анализ событий — предшественников аварий) (12.107–12.119)	223
Риск-ориентированные регулирующие положения (12.120–12.124)	225
Риск-ориентированный надзор и обеспечение соблюдения требований (12.125–12.128)	227
Использование заключений ВАБ для разработки или усовершенствования аварийных эксплуатационных регламентов (12.129–12.138)	229
Использование заключений ВАБ в процессе риск-ориентированного обучения персонала станции (12.139–12.147)	231
Использование ВАБ для решения новых проблем (12.148–12.152)	233
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	235

ПРИЛОЖЕНИЕ I	ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ.....	239
ПРИЛОЖЕНИЕ II	ПРИМЕРЫ ДЕРЕВЬЕВ СОБЫТИЙ, СВЯЗАННЫХ С ПОЖАРОМ, И ДЕРЕВЬЕВ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ	269
ПРИЛОЖЕНИЕ III	ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ВАБ ДЛЯ СОСТОЯНИЙ ОСТАНОВА	271
СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ.....		295

1. ВВЕДЕНИЕ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. В публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SF-1, «Основополагающие принципы безопасности» [1] определены принципы 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 изначально присущего такой деятельности риска. В частности, пункт 3.22 SF-1 [1], касающийся оптимизации защиты, гласит:

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

1.2. В ряде публикаций МАГАТЭ категории требований безопасности определены более конкретные требования к оценке риска для атомных электростанций. В требовании 42 публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSR-2/1 (Rev. 1), «Безопасность атомных электростанций: проектирование» [2] указывается:

«Должен быть проведен анализ безопасности проекта АЭС, в рамках которого должны использоваться методы как детерминистического анализа, так и вероятностного анализа, позволяющие провести оценку и анализ угроз безопасности применительно к различным категориям состояний станции».

Кроме того, в пункте 5.76 SSR-2/1 (Rev. 1) [2] говорится следующее (сноска опущена):

«В проекте должны надлежащим образом учитываться результаты вероятностного анализа безопасности станции применительно ко всем

режимам эксплуатации и всем состояниям станции, включая останов, с уделением особого внимания, в частности:

- а) установлению того, что сбалансированный проект разработан таким образом, что никакое конкретное устройство или постулируемое исходное событие не вносят непропорционально большой или в значительной степени неопределенный вклад в общий объем рисков, и что уровни глубокоэшелонированной защиты независимы в той мере, в какой это практически осуществимо;
- б) обеспечению гарантий того, что будут предотвращаться ситуации, в которых небольшие отклонения параметров станции могут привести к сильным изменениям условий на станции (пороговым эффектам);
- в) сравнению результатов анализа с критериями приемлемости риска, если таковые были установлены».

Таким образом, вероятностный анализ безопасности (ВАБ) считается важным инструментом анализа для обеспечения безопасности атомной электростанции в случае возникновения потенциальных исходных событий, которые могут быть вызваны случайным отказом компонентов или ошибкой персонала, а также внутренними и/или внешними опасностями.

1.3. В пункте 4.13 публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 4 (Rev. 1), «Оценка безопасности установок и деятельности» [3] указывается:

«В оценку безопасности необходимо включать анализ безопасности, состоящий из ряда различных количественных анализов, проводимых с целью определения и оценки рисков для безопасности посредством применения детерминистических и вероятностных методов».

В пункте 4.55 GSR Part 4 (Rev. 1) [3] 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, для тщательного исследования безопасности атомной электростанции необходим всесторонний ВАБ.

1.4. Было показано, что ВАБ дает возможность сделать важные заключения в отношении безопасности в дополнение к тем, которые делаются на основе детерминистического анализа. ВАБ предлагает методологический подход к определению аварийных последовательностей, которые могут стать причиной разнообразных исходных событий, и включает в себя методичное и реалистичное определение повреждений и радиоактивных выбросов и их частоты. В международной практике принято выделять три уровня ВАБ, описанных ниже.

- а) В ВАБ уровня 1 анализируются проект и эксплуатация станции с целью определить последовательности событий, которые могут приводить к повреждению активной зоны и/или топлива¹, и выполняется оценка соответствующей частоты повреждения активной зоны и/или топлива. ВАБ уровня 1 позволяет выявлять сильные и слабые стороны конструкций, систем и элементов (КСЭ), важных для безопасности, и процедур, которые действуют или предусмотрены для предотвращения повреждения активной зоны и/или топлива.
- б) В ВАБ уровня 2 оценивается хронологическое развитие последовательностей повреждения активной зоны и/или топлива, определенных в ВАБ уровня 1, включая количественную оценку последствий тяжелого повреждения реакторного топлива и/или отработавшего топлива. В ВАБ уровня 2 определяется, каким образом соответствующие выбросы радиоактивного материала из топлива могут привести к выбросам в окружающую среду. Кроме того, оценивается частота и другие соответствующие характеристики выбросов радионуклидов в окружающую среду. Этот анализ позволяет лучше понять относительную важность мер по предотвращению аварий и смягчению их последствий, а также физических барьеров,

¹ Поскольку раздел 5 посвящен активной зоне реактора, в разделе 5 употребляется термин «повреждение активной зоны», если только речь не идет конкретно о повреждении топлива. Разделы 6–8 касаются внутренних и внешних опасностей, которые не ограничиваются активной зоной реактора, но могут также затрагивать топливо в бассейне выдержки отработавшего топлива, и поэтому в них употребляется термин «повреждение активной зоны и/или топлива». В разделе 9 рассматриваются состояния останова реактора для топлива в активной зоне реактора и при обращении с топливом. Наконец, в разделе 10 разбираются все вопросы повреждения топлива, конкретно относящиеся к бассейну выдержки отработавшего топлива, а в разделе 11 — вопросы, относящиеся к расчету показателей риска для многоблочных площадок.

защищающих от выброса радионуклидов в окружающую среду (например, здания гермооболочки). Дополнительные рекомендации содержатся в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-4, «Разработка и применение вероятностной оценки безопасности уровня 2 для атомных электростанций» [4].

- с) В ВАБ уровня 3 оцениваются последствия для здоровья населения и другие последствия для общества, такие как загрязнение почвы или продуктов питания в результате аварийных последовательностей, которые приводят к выбросу радиоактивного материала в окружающую среду.

1.5. ВАБ уровня 1, ВАБ уровня 2 и ВАБ уровня 3 — это последовательные уровни анализа, при котором результаты каждой оценки обычно служат основой для ВАБ следующего уровня. ВАБ уровня 1 дает представление о слабых местах проекта и о путях предотвращения аварий, ведущих к повреждению активной зоны и/или топлива, которые могут предшествовать авариям, ведущим к крупным выбросам радиоактивного материала с потенциальными последствиями для здоровья людей и окружающей среды. ВАБ уровня 2 позволяет понять относительную важность аварийных последовательностей, ведущих к повреждению активной зоны и/или топлива, с точки зрения объема выбросов радиоактивного материала, которые они могут повлечь за собой, а также слабые места функций локализации и мер по смягчению и ликвидации последствий тяжелых аварий и пути их совершенствования, как описано в SSG-4 [4]. ВАБ уровня 3 показывает относительную важность мер по предотвращению аварий и смягчению их последствий, выраженную показателями серьезности последствий для здоровья как работников станции, так и населения, а также загрязнения почвы, воздуха, воды и продуктов питания. Кроме того, ВАБ уровня 3 показывает относительную эффективность управления авариями в части, касающейся аварийной готовности и реагирования.

1.6. Настоящее Руководство по безопасности было подготовлено по итогам методичного изучения соответствующих публикаций, включая публикацию категории основ безопасности SF-1 [1], SSR-2/1 (Rev. 1) [2] и GSR Part 4 (Rev. 1) [3]; текущие версии других руководств по безопасности, включая SSG-4 [4], публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-2 (Rev. 1), «Детерминистический анализ безопасности атомных электростанций» [5], № SSG-64, «Protection Against Internal Hazards in the Design of Nuclear Power Plants» («Защита от внутренних опасностей при проектировании атомных электростанций») [6] и № SSG-89, «Evaluation of Seismic Safety for Nuclear Installations» («Оценка сейсмической безопасности

ядерных установок») [7]; доклады Международной консультативной группы по ядерной безопасности [8, 9]; прочие публикации по безопасности атомных электростанций.

1.7. Настоящее Руководство по безопасности заменяет публикацию Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-3, «Разработка и применение вероятностной оценки безопасности уровня 1 для атомных электростанций»², которая утрачивает силу.

ЦЕЛЬ

1.8. Цель настоящего Руководства по безопасности состоит в том, чтобы сформулировать рекомендации по выполнению требований, изложенных в GSR Part 4 (Rev. 1) [3], в связи с осуществлением проекта ВАБ уровня 1 или управлением таким проектом для атомной электростанции и его использованием для нужд безопасного проектирования и эксплуатации станции. Положения настоящего Руководства по безопасности применимы к существующим и новым станциям. Цель рекомендаций, представленных в настоящем Руководстве по безопасности, — способствовать повышению технической согласованности исследований по ВАБ уровня 1, чтобы стать надежным фундаментом для применений ВАБ и принятия решений на основе риск-ориентированного подхода. Еще одна цель настоящего Руководства по безопасности — рекомендовать стандартную систему, которая могла бы облегчить оценку регулирующим органом или внешними экспертами ВАБ уровня 1 и его разнообразных применений.

1.9. В настоящем Руководстве по безопасности также предлагается последовательный, надежный механизм обеспечения эффективного выполнения обязательств по статье 14 Конвенции о ядерной безопасности [10].

1.10. Рекомендации, представленные в настоящем Руководстве по безопасности, основаны на международно признанных положительных практиках. При этом не исключается использование эквивалентных новых или альтернативных методов; напротив, поощряется использование любого метода, который способствовал бы достижению целей ВАБ уровня 1.

² МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Разработка и применение вероятностной оценки безопасности уровня 1 для атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-3, МАГАТЭ, Вена (2014).

Однако предполагается, что в обозримом будущем при проведении ВАБ будет применяться система, описанная в настоящем Руководстве по безопасности.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

1.11. В настоящем Руководстве по безопасности рассматриваются необходимые технические элементы ВАБ уровня 1 и его применений для атомных электростанций (как существующих, так и новых) на основе международно признанных положительных практик. ВАБ уровня 1 выполняется для большинства атомных электростанций по всему миру. Объем ВАБ уровня 1, рассматриваемого в настоящем Руководстве по безопасности, включает в себя все эксплуатационные состояния станции (т.е. работу на номинальной мощности и останов), а также все потенциальные исходные события и потенциальные опасности, а именно: i) внутренние исходные события, вызванные случайными отказами компонентов и ошибками персонала, ii) внутренние опасности (например, внутренние пожары, затопление, взрывы, летящие обломки турбины) и iii) внешние опасности — как природного характера (например, землетрясения, внешние затопления, сильные ветры, другие метеорологические опасности), так и антропогенного характера (например, падение самолета, взрывная волна, аварии на близлежащих промышленных объектах), — а также сочетания опасностей, таких как сопутствующие (последующие) события, взаимосвязанные события и несвязанные (независимые) события.

1.12. Настоящее Руководство по безопасности посвящено анализу активной зоны реактора атомной электростанции и топлива в активной зоне и в бассейне выдержки отработавшего топлива. Анализ других источников радиоактивного материала на площадке (например, промежуточных хранилищ топлива) не входит в задачу настоящего Руководства. Однако в случае опасностей, которые затрагивают всю площадку, любые неблагоприятные воздействия, которые такие установки могут оказать на реакторы и бассейны выдержки отработавшего топлива, учитываются при оценке безопасности и, следовательно, рассматриваются в настоящем Руководстве по безопасности. Данное Руководство по безопасности также охватывает вопросы многоблочных площадок, которые могут рассматриваться при разработке ВАБ уровня 1 для многоблочных площадок с целью количественной оценки показателей риска, обусловленных наличием нескольких энергоблоков.

1.13. Рассмотрение опасностей, возникающих в результате злонамеренных действий, не входит в задачу данного Руководства по безопасности³.

1.14. При выполнении ВАБ уровня 1 принято проводить анализ различных опасностей и эксплуатационных состояний станции в рамках интегрированной модели, взяв за основу ВАБ уровня 1 при работе на номинальной мощности для внутренних исходных событий. В настоящем Руководстве по безопасности представлена информация о различных типах ВАБ, включенных в интегрированную модель.

1.15. Рекомендации, содержащиеся в настоящем Руководстве по безопасности, должны быть, насколько это возможно, технологически нейтральными, и ожидается, что подавляющее большинство рекомендаций будет применимо к различным типам атомных электростанций.

СТРУКТУРА

1.16. В разделе 2 представлены рекомендации по общим вопросам, относящимся к выполнению и применению ВАБ, включая объем и валидацию ВАБ и разработку текущего ВАБ. Раздел 3 содержит ключевые рекомендации по управлению проектом и организации ВАБ и по общим аспектам документации ВАБ. В разделе 4 рассматривается задача ознакомления группы, выполняющей ВАБ, с атомной электростанцией. В разделах 5–8 даются рекомендации по методологии проведения ВАБ уровня 1 при работе на номинальной мощности, включая режимы работы на сниженном уровне мощности, для различных исходных событий и опасностей. Точнее говоря, в разделе 5 представлены рекомендации по ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий. В разделе 6 сведены ключевые рекомендации по общим аспектам ВАБ уровня 1 для внутренних и внешних опасностей, а в разделах 7 и 8 рассматриваются конкретные аспекты ВАБ уровня 1 для внутренних и внешних опасностей соответственно. В разделе 9 содержатся ключевые рекомендации по проведению ВАБ уровня 1 для состояний останова. В разделе 10 рассматриваются конкретные аспекты разработки ВАБ для бассейнов выдержки отработавшего топлива. В разделе 11 представлены рекомендации по проведению ВАБ уровня 1

³ Тем не менее ВАБ уровня 1 считается конфиденциальной информацией, и к нему следует относиться соответствующим образом (см. публикацию Серии изданий МАГАТЭ по физической ядерной безопасности, № 23-G, «Безопасность ядерной информации» [11]).

для многоблочной площадки, направленные на количественную оценку показателей риска, обусловленных наличием нескольких энергоблоков, в то время как рассмотрение взаимодействий на многоблочной площадке с точки зрения ВАБ уровня 1 для одного блока представлено в разделах 5–10. В разделе 12 изложены ключевые рекомендации по областям применения ВАБ уровня 1. В трех приложениях приведены пример общего списка внешних опасностей, примеры дерева событий, связанных с пожаром, и дерева сейсмических событий и вспомогательная информация по проведению ВАБ для состояний останова.

2. ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ВЫПОЛНЕНИЕМ И ПРИМЕНЕНИЕМ ВАБ

2.1. В настоящем разделе рассматриваются некоторые общие вопросы, относящиеся к выполнению ВАБ и использованию результатов ВАБ на практике. Хотя настоящее Руководство по безопасности ограничено рассмотрением ВАБ уровня 1, в данном разделе описываются проблемы под более широким углом зрения, чтобы дать полную картину возможностей, которые предоставляют методы ВАБ, и их результатов. Некоторые утверждения в настоящем разделе не являются рекомендациями как таковыми; они скорее содержат вспомогательную информацию, позволяющую лучше понять контекст утверждений и рекомендаций, представленных в других разделах настоящего Руководства по безопасности.

ОБЪЕМ ВЫПОЛНЕНИЯ ВАБ

2.2. Требование 1 GSR Part 4 (Rev. 1) [3] гласит:

«Дифференцированный подход должен использоваться для определения сферы охвата и степени детализации оценки безопасности, проводимой на конкретной стадии в отношении конкретной установки или деятельности с учетом масштабов возможных радиационных рисков, которые могут возникнуть на данной установке или в рамках данного вида деятельности».

Кроме того, в требовании 14 GSR Part 4 (Rev. 1) [3] говорится следующее: **«В анализе безопасности должны оцениваться рабочие характеристики установки или деятельности на всех стадиях процесса эксплуатации и, при необходимости, на стадии после эксплуатации».**

Объем выполняемого ВАБ следует увязывать с вероятностными целями или критериями безопасности, если таковые установлены в национальных правилах или рекомендациях. На высоком уровне количественные результаты ВАБ часто используются для подтверждения соответствия вероятностным целям или критериям безопасности, которые обычно формулируются в виде количественных оценок i) частоты повреждения активной зоны реактора или повреждения топлива, ii) частоты радиоактивных выбросов различного типа или iii) рисков для общества и которые, таким образом, могут потребовать выполнения ВАБ уровня 1, 2 или 3 соответственно. В вероятностных целях или критериях безопасности, как правило, не указывается, какие опасности и эксплуатационные состояния станции должны рассматриваться. Поэтому для того чтобы использовать результаты ВАБ для проверки соответствия существующим вероятностным целям или критериям безопасности, следует выполнить полномасштабный ВАБ, охватывающий полный список исходных событий и опасностей и все эксплуатационные состояния станции, за исключением случаев, когда i) вероятностные цели безопасности или критерии сформулированы таким образом, чтобы требовать проведения ВАБ ограниченного масштаба, или ii) используются альтернативные подходы с целью продемонстрировать, что риск, связанный с теми исходными событиями, опасностями и эксплуатационными состояниями, которые не включены в модель, не нарушает соответствия вероятностным целям или критериям безопасности.

2.3. ВАБ уровня 1 должен включать в себя анализ состояния топлива в активной зоне реактора единичного энергоблока; рекомендации по разработке ВАБ уровня 1 для активной зоны реактора единичного энергоблока приведены в разделах 5–9. ВАБ уровня 1 также должен включать в себя анализ состояния топлива в бассейне выдержки отработавшего топлива; соответствующие рекомендации приведены в разделе 10. Кроме того, он может включать в себя анализ показателей риска для многоблочной площадки; соответствующие рекомендации приведены в разделе 11.

2.4. Важное достоинство ВАБ состоит в том, что он обеспечивает четкую систему для анализа неопределенностей при оценке риска. Идентификацию источников неопределенности и понимание их значения для модели ВАБ и

ее результатов следует рассматривать как неотъемлемую часть любого ВАБ, с тем чтобы влияние неопределенностей могло быть принято во внимание при использовании результатов ВАБ для нужд принятия решений.

ВАЛИДАЦИЯ И ПРОВЕРКА ВАБ

2.5. Требование 18 GSR Part 4 (Rev. 1) [3] гласит: **«Любые методы расчета и компьютерные коды, используемые при проведении анализа безопасности, должны проходить верификацию и валидацию»**. ВАБ предусматривает применение ряда аналитических методов. В зависимости от объема анализа (уровень 1, 2 или 3), к ним относятся анализ аварийных последовательностей и связанных с ними систем, как правило, посредством разработки логических моделей дерева событий и дерева отказов наряду с методами решений этих логических моделей; разработка моделей явлений, которые могут возникать, например, в пределах здания гермооболочки и/или хранилища отработавшего топлива атомной электростанции вследствие повреждения активной зоны и/или топлива; разработка моделей переноса радионуклидов в окружающей среде с целью определения их воздействия на здоровье человека и окружающую среду. Перед применением данных аналитических методов следует продемонстрировать, что они обеспечивают надлежащее отображение происходящих процессов. В соответствии с пунктом 4.60 GSR Part 4 (Rev. 1) [3] компьютерные коды, лежащие в основе данных аналитических методов, должны соответствовать назначению и объему проводимого анализа, а управляющие физические и логические уравнения следует правильно преобразовывать в компьютерные коды.

2.6. Требование 21 GSR Part 4 (Rev. 1) [3] гласит: **«Эксплуатирующая организация должна проводить независимую проверку оценки безопасности до начала ее использования эксплуатирующей организацией или до представления регулирующему органу»**. Среди организаций, выполняющих ВАБ, принято поручать проведение независимой экспертной оценки этого ВАБ внешней организации, в некоторых случаях из другого государства, с целью обеспечить определенную степень уверенности в адекватности объема проведенного анализа, моделирования и данных (например, в том, что они соотносятся с объемом документа, представляемого регулирующему органу), а также обеспечить их соответствие современной положительной практике ВАБ, признанной на международном уровне. Эксперты, привлеченные для

проверки ВАБ, не должны участвовать ни в какой другой работе, связанной с выполнением рассматриваемого ВАБ, и должны представлять организацию, независимую от разработчика ВАБ.

ТЕКУЩИЙ ВАБ

2.7. Требование 24 GSR Part 4 (Rev. 1) [3] гласит: «**Должны проводиться периодический обзор и обновление оценки безопасности**». В течение срока службы атомной электростанции в проект КСЭ или в порядок эксплуатации станции часто вносятся изменения. Подобные модификации могут оказывать влияние на уровень риска, связанного со станцией. Во время эксплуатации станции накапливаются дополнительные статистические данные о частоте исходных событий и вероятностях отказов компонентов. Аналогичным образом, могут появиться новая информация, обновленные знания, новый опыт эксплуатации и более сложные методы и инструменты, которые могут изменить некоторые из допущений, сделанных в анализе, и, как следствие, оценки риска, полученные с помощью ВАБ. Поэтому следует сохранять актуальность ВАБ на протяжении всего срока службы станции, для того чтобы он мог по-прежнему применяться в процессе принятия решений. ВАБ, который подвергается регулярному периодическому обновлению, называется текущим ВАБ. При обновлении ВАБ следует учитывать изменения в проекте и эксплуатации станции, новую техническую информацию и более сложные методы и инструменты, которые становятся доступными, а также новые данные по конкретной станции, получаемые в результате эксплуатации станции, (например, данные, используемые при оценке частоты исходных событий или вероятностей отказов компонентов). Актуализацию ВАБ следует выполнять по определенной процедуре и статус ВАБ следует регулярно пересматривать для подтверждения того, что он сохраняет свою роль представительной модели станции и соответствует своему назначению.

2.8. На протяжении всего срока службы станции следует проводить сбор данных с целью проверки актуальности или обновления анализа. Следует собирать информацию об опыте эксплуатации, в частности данные об исходных событиях, данные об отказах и неготовности компонентов во время испытаний, технического обслуживания и ремонта, а также данные о действиях персонала. Результаты анализа следует периодически подвергать переоценке в свете новой информации. Для совершенствования текущего ВАБ следует также использовать новые данные с других станций того же типа или аналогичной конфигурации, если таковые имеются.

2.9. Следует поощрять разработку текущего ВАБ для нужд процесса принятия решений при нормальной эксплуатации станции. Многие решения, такие как оценка изменения риска, обусловленного изменением на станции или временным изменением допустимого времени простоя компонента, могут быть подкреплены аргументами, полученными на основе ВАБ. Как показывает опыт, такой текущий ВАБ может принести большую пользу эксплуатирующей организации и его применение обычно приветствуется регулирующими органами.

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ЦЕЛИ ИЛИ КРИТЕРИИ БЕЗОПАСНОСТИ

2.10. Требование 4 GSR Part 4 (Rev. 1) [3] гласит:

«Главные цели оценки безопасности состоят в том чтобы определить, достигнут ли надлежащий уровень безопасности установки или деятельности и реализованы ли основные задачи и критерии обеспечения безопасности, установленные проектной, эксплуатирующей организацией и регулирующим органом...».

Если цель ВАБ состоит в определении существенных вкладчиков в риск или выборе одного из нескольких вариантов проекта и конфигураций станции, референтное значение может и не потребоваться. Однако если цель ВАБ заключается в содействии вынесению заключения о том, i) является ли допустимым расчетный риск, ii) является ли допустимым предлагаемое изменение в проекте или эксплуатации станции или iii) необходимо ли внести какое-либо изменение для снижения уровня риска, то следует задать вероятностные референтные значения, чтобы дать представление о желаемом или требуемом уровне безопасности станции проектным, эксплуатирующим организациям, регулирующим органам и прочим заинтересованным сторонам, выполняющим соответствующие функции в деле производства безопасной ядерной энергии. В одних государствах в настоящее время референтные значения принято выражать в виде вероятностных целей безопасности, подразумевая, что они представляют собой ориентировочные значения, к достижению которых следует стремиться. В других государствах референтные значения являются критериями, которые задают строгие пределы, соблюдение которых необходимо.

2.11. ВАБ 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 любого или всех из нижеследующих показателей риска:

- a) вероятности невыполнения конкретных функций безопасности или отказа систем, отвечающих за выполнение функций безопасности;
- b) частоты повреждения активной зоны⁴ или топлива (ВАБ уровня 1);
- c) частоты конкретного выброса (определяемой, например, его объемом, изотопным составом, продолжительностью) радиоактивного материала на станции или частоты выброса радиоактивного материала как функции его величины (ВАБ уровня 2);
- d) частоты возникновения определенных последствий для здоровья населения или частоты возникновения конкретных экологических последствий (ВАБ уровня 3).

2.12. В государствах вероятностные референтные значения обычно определяются либо как критерии, целевые показатели, цели, задачи или руководящие принципы, либо как численные значения, служащие в качестве ориентира. Кроме того, численные значения уровней риска, которые соответствуют порогу допустимости и целевым показателям проекта, в разных государствах⁵ неодинаковы.

2.13. Что касается вероятности невыполнения функций безопасности или отказа систем безопасности, то на уровне функции или системы безопасности могут быть установлены вероятностные целевые показатели. Такие показатели полезны для проверки достаточности предусмотренного уровня резервирования и неодинаковости. Такие целевые показатели будут отражать специфику конструкции станции, и поэтому в данной публикации не могут быть даны рекомендации относительно их установления. При оценке безопасности следует проверять, достигаются ли эти целевые показатели. Если они не достигаются, то проект может по-прежнему считаться приемлемым при условии соблюдения критериев более высокого

⁴ Вероятностные цели или критерии безопасности для повреждения активной зоны необходимо уточнять так, как описано в главе 5. Эти цели или критерии безопасности могут различаться для реакторов разных конструкций.

⁵ Существующие системы и примеры определения вероятностных критериев безопасности приведены в [12].

уровня. Однако соответствующим системам безопасности следует уделить особое внимание для установления того, могут ли быть внесены какие-либо разумно осуществимые усовершенствования.

2.14. На основе текущего опыта проектирования и эксплуатации атомных электростанций и исходя из допустимых рисков в некоторых государствах на национальном уровне были определены численные референтные значения для существующих и новых атомных электростанций. Соответствующий пример приведен в [8]⁶.

2.15. Наиболее распространенными показателями риска, используемыми в ВАБ уровня 1, являются частота повреждения активной зоны⁷ и частота повреждения топлива. Во многих государствах численные значения такого типа официально либо неофициально используются в качестве вероятностных целей или критериев безопасности.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВАБ ПРИ ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ

2.16. Требование 23 GSR Part 4 (Rev. 1) [3] гласит:

«Результаты оценки безопасности должны использоваться для определения программы технического обслуживания, надзора и инспекций; для определения процедур, предусматриваемых для всей эксплуатационной деятельности, значимой для безопасности, и для реагирования на ожидаемые при эксплуатации события и аварии; для определения необходимой компетентности персонала, имеющего отношение к данной установке или деятельности, а также для принятия решений с использованием интегрированного, риск-информированного подхода».

⁶ Целевыми показателями частоты повреждения активной зоны в [8] являются 1×10^{-4} за реакторо-год для существующих станций и 1×10^{-5} за реакторо-год для будущих станций. В [8] прямо не уточняется, к какому объему ВАБ применимы эти численные значения; предполагается, что имеется в виду полномасштабный ВАБ.

⁷ Дополнительную информацию см. в пунктах 10.2–10.6.

2.17. ВАБ следует использовать на протяжении срока службы станции как источник исходных данных для принятия решений в сочетании с результатами и знаниями, полученными при проведении детерминистического анализа безопасности, и с учетом соображений глубокоэшелонированной защиты.

2.18. ВАБ может дать полезные знания и исходные данные для различных заинтересованных сторон, таких как эксплуатирующие организации (т.е. административный, инженерно-технический, эксплуатационный персонал и персонал технического обслуживания), регулирующие органы, организации технической поддержки, проектные организации и организации-поставщики, для принятия решений относительно:

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

2.19. В тех случаях, когда результаты ВАБ предполагается использовать для нужд процесса принятия решений, для этого следует создать официальную систему (см. [9]). Детали процесса принятия решений будут зависеть от цели конкретного применения ВАБ, характера принимаемого решения и используемых результатов ВАБ. Если предполагается использовать численные результаты ВАБ, следует установить референтные значения, с которыми могут сравниваться эти результаты.

2.20. В ВАБ следует рассматривать фактический проект или эксплуатацию, или, в случае сооружаемой станции или при выполнении модификаций, предполагаемый проект или эксплуатацию станции, что следует четко определить в качестве основы для анализа. Чтобы установить ясную цель выполнения ВАБ, состояние станции может быть зафиксировано таким, каким оно было на определенную дату («дата замораживания») или каким оно будет после завершения согласованных модификаций. Более поздние изменения могут учитываться в рамках программы текущего ВАБ, как описано в пунктах 2.7–2.9.

2.21. Для станции, находящейся на этапе проектирования, результаты ВАБ следует использовать в качестве элемента процесса проектирования для оценки уровня безопасности. Знания, полученные в результате ВАБ, следует рассматривать в сочетании со знаниями, полученными в результате детерминистического анализа, для принятия решений относительно

безопасности станции. Следует обеспечить, чтобы решения в отношении безопасности станции являлись результатом итеративного процесса, призванного обеспечить соблюдение национальных требований и критериев, сбалансированность проекта и поддержание риска на разумно достижимом низком уровне.

2.22. Кроме того, результаты ВАБ следует сравнивать с референтными значениями, такими как вероятностные цели или критерии безопасности, если таковые установлены в национальных правилах или рекомендациях. Это следует делать в отношении всех вероятностных целей или критериев, определенных для станции, в том числе тех, которые касаются надежности систем, частоты повреждения активной зоны и/или топлива, частоты выбросов радиоактивного материала, воздействия на здоровье работников, воздействия на здоровье населения и последствий за пределами площадки, таких как загрязнение почвы и введение ограничений на употребление пищевых продуктов.

2.23. В ВАБ следует определять все аварийные последовательности, которые вносят вклад, не являющийся ничтожно малым⁸, в риск⁹. Если в ходе анализа не учитываются все значительные вкладчики в риск (например, если при проведении анализа пренебречь внешними опасностями или состояниями останова), то сделанные на основе ВАБ выводы относительно уровня риска, создаваемого станцией, сбалансированности предусмотренных средств безопасности и/или необходимости внесения изменений в проект или эксплуатацию для снижения риска, могут быть необъективными. Такие ограничения следует учитывать при использовании ВАБ для нужд принятия решений. В этой связи рекомендуется использовать полномасштабную модель ВАБ.

2.24. Результаты ВАБ следует использовать для выявления слабых мест в проекте или в эксплуатации станции. Эти слабые места можно определять, учитывая, какой вклад в риск вносят группы исходных событий, критерии значимости КСЭ и вклад в общий риск ошибок персонала. Если результаты

⁸ Вклад в риск может быть признан ничтожно малым на основании оцененного потенциального воздействия на конечные результаты и последующий процесс принятия решений.

⁹ Это относится только к сценариям, которые не вызваны событиями, связанными с физической безопасностью, такими как злонамеренные действия.

ВАБ указывают на то, что для снижения риска в проект или эксплуатацию станции могут быть внесены изменения, такие изменения следует предусматривать, когда это разумно достижимо (см. [13]).

2.25. В разделе 12 представлены подробные рекомендации по конкретным видам применения ВАБ для нужд принятия решений регулирующим органом и эксплуатирующими или проектными организациями.

3. УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТОМ И ОРГАНИЗАЦИЯ ВАБ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕЙ И ОБЪЕМА ПРОЕКТА ВАБ

3.1. Определение целей ВАБ, а также его предполагаемого и потенциального использования является важным шагом, который необходимо предпринять, прежде чем приступить к выполнению ВАБ. Объем ВАБ определяется уровнем анализа (т.е. уровень 1, 2 или 3), рассматриваемыми исходными событиями, опасностями и эксплуатационными состояниями (т.е. работа на номинальной мощности или режим останова)¹⁰. Объем ВАБ должен соответствовать как целям анализа, так и объему имеющихся ресурсов и информации, т.е. необходимым процедурам и методам, кадровым, экспертным и финансовым ресурсам и времени, требующемуся для выполнения анализа. Например, если цель ВАБ состоит в сопоставлении риска, связанного с эксплуатацией станции, с установленными вероятностными целями безопасности, что подразумевает полную оценку риска, то следует выполнить полномасштабный ВАБ, охватывающий полный перечень исходных событий и опасностей и все эксплуатационные состояния станции. Для выполнения этого анализа следует выделить достаточные ресурсы. Кроме того, в зависимости от формулировки вероятностных целей безопасности может возникнуть необходимость анализа других источников излучения (например, топлива в бассейне выдержки отработавшего топлива).

¹⁰ ВАБ для режимов работы на сниженном уровне мощности и состояний останова иногда выполняется в рамках одного самостоятельного исследования; однако ВАБ для работы на сниженном уровне мощности, возможно, целесообразнее выполнять как часть ВАБ для работы на номинальной мощности (именно так эти состояния рассматриваются в данном Руководстве по безопасности).

3.2. Предполагаемые формы применения ВАБ могут повлиять на объем ВАБ, подходы к моделированию и степень детализации. Если это влияние будет принято во внимание на этапе планирования проекта ВАБ, это поможет избежать расхождений в полученных результатах и сделанных выводах. Например, если ВАБ предполагается использовать для разработки программы управления тяжелыми авариями, следует выполнить ВАБ уровня 2. Также следует расширить объем ВАБ до уровня 2 или даже уровня 3, если ВАБ предполагается использовать для нужд определения зон аварийного планирования. Другой пример: если модель ВАБ предполагается использовать в качестве основы для монитора риска, ее следует сделать «симметричной» с точки зрения моделирования исходных событий¹¹. Рекомендации по элементам ВАБ, необходимым для различных форм его применения, представлены в разделе 12.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТОМ ВАБ

3.3. Требование 5 GSR Part 4 (Rev. 1) [3] гласит: **«Первая стадия проведения оценки безопасности должна обеспечивать определение и наличие необходимых ресурсов, информации, данных, аналитических средств, а также критериев безопасности».**

3.4. Кроме того, требование 22 GSR Part 4 (Rev. 1) [3] гласит: **«Процессы, итогом которых является выработка оценки безопасности, должны планироваться, организовываться, применяться и подвергаться проверкам и анализу».**

3.5. Управление проектом ВАБ в значительной мере зависит от следующих конкретных условий в государстве:

- a) организаций, участвующих в проекте ВАБ;
- b) типа и уровня вовлеченности участвующих организаций;
- c) целей и объема проекта ВАБ.

¹¹ Модель ВАБ считается симметричной, если она в явной форме моделирует исходные события во всех местах, в которых они могут произойти, включая все петли первого контура, все каналы систем, учитываемых в анализе, и все работающие и резервированные каналы систем нормальной эксплуатации (см. пункт 5.83). Несимметричное моделирование исходных событий может затруднить получение реалистичного профиля рисков с помощью монитора риска при внесении определенных изменений в конфигурацию станции.

После того, как будут определены цели и объем ВАБ, следует разработать схему управления проектом ВАБ. Это предполагает выбор методов и установление процедур, подбор персонала и организацию группы, которая будет выполнять ВАБ, обучение этой группы, составление графика реализации проекта ВАБ, оценку и получение необходимых финансовых средств, а также определение процедур обеспечения качества и процедур экспертной оценки.

3.6. Заказчиком проекта ВАБ является, как правило, одна из следующих организаций:

- а) организация — проектировщик станции;
- б) организация, эксплуатирующая станцию;
- в) регулирующий орган.

ВАБ может выполняться вышеупомянутыми организациями или консультантами, научно-исследовательскими институтами, университетами, организациями технической поддержки или совместными усилиями нескольких организаций. Эксплуатирующей организации следует всегда принимать участие в этом процессе в качестве источника знаний об эксплуатации, а также адресата тех заключений, которые будут сделаны¹².

3.7. Начинать процесс выполнения ВАБ желательно на как можно более раннем этапе срока службы станции. Недостатки в проекте или эксплуатационных регламентах, обнаруженные заблаговременно, могут быть устранены или исправлены с меньшими расходами, чем те, которые останутся неустраненными к моменту начала эксплуатации станции. Хотя проведение ВАБ может быть начато на любом из этапов срока службы станции, модели и документацию ВАБ следует вести и регулярно обновлять на протяжении всего срока эксплуатации станции в целях непрерывного получения полезных результатов.

3.8. В проекте ВАБ следует предусмотреть конкретную «дату замораживания» для моделирования условий на станции на момент строительства и на момент эксплуатации. Если в начале выполнения проекта ВАБ становится известно, что в ближайшее время, до завершения ВАБ, в

¹² Выполнение этой рекомендации может оказаться трудным в случае проведения ВАБ на стадии проектирования. Если проводится типовой ВАБ для некоей референтной станции, то особенно полезным может оказаться опыт эксплуатации, имеющийся у эксплуатирующей организации.

проект и эксплуатацию станции будут вноситься определенные изменения, то на ранней стадии ВАБ следует принять решение относительно того, будут ли данные изменения учитываться в ВАБ. Если будет принято решение учесть будущие изменения, то следует установить соответствующую дату замораживания, а в ВАБ следует учесть состояние станции после внесения этих изменений.

3.9. Документацию ВАБ следует вести таким образом, чтобы она была ясной, прослеживаемой, систематической и прозрачной и могла служить полезным подспорьем в деле проверки ВАБ, применения ВАБ и актуализации ВАБ в будущем.

ВЫБОР МЕТОДОВ И УСТАНОВЛЕНИЕ ПРОЦЕДУР

3.10. С самого начала осуществления проекта следует установить надлежащие методы и процедуры работы с таким расчетом, чтобы свести к минимуму модификацию этих процедур по ходу реализации проекта. Излишние итерации в методах и процедурах могут задержать выполнение проекта ВАБ. В нижеследующих разделах настоящей публикации приведены общие руководящие указания по методологическим средствам и подходам к анализу. После выбора методов работы следует увязать различные этапы процедур с задачами обеспечения качества и обучения группы для выработки подробного плана выполнения задач, включая график реализации проекта.

3.11. Ресурсы, необходимые для выполнения ВАБ, включая экспертные знания привлекаемых специалистов, людские ресурсы, машинное время и календарное время, в значительной степени зависят от объема ВАБ, который, в свою очередь, определяется общими целями, а также от экспертных знаний, уже имеющихся у группы по выполнению ВАБ. График работ следует составлять в соответствии с установленными подробными процедурами и с учетом наличия персонала.

ПОДБОР И ОРГАНИЗАЦИЯ ГРУППЫ

3.12. Члены группы, выполняющей ВАБ, могут характеризоваться организацией, которую они представляют (если привлекаются разные организации), и техническими знаниями, которыми они обладают. Как только будет подобран необходимый персонал, следует наладить каналы

связи и распределить конкретные задачи. Следует определить и организовать необходимое обучение с учетом задач, связанных с выполнением ВАБ. Задача формирования и обучения группы тесно связана с задачами обеспечения качества, которые рассматриваются в пунктах 3.15 и 3.16.

3.13. Экспертные знания, необходимые для проведения ВАБ, должны включать два необходимых элемента: знание методов выполнения ВАБ и знание станции. Глубина этих знаний может меняться в зависимости от объема ВАБ, однако следует предусмотреть участие проектной организации и/или организации, эксплуатирующей станцию. Точнее говоря, источником экспертных знаний о станции должны служить лица, хорошо знакомые с проектом и эксплуатацией станции в эксплуатационных состояниях и в аварийных условиях.

3.14. Группе, которая выполняет ВАБ впервые, следует пройти обучение для приобретения знаний, необходимых для успешного выполнения этой задачи.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОГРАММЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ВАБ

3.15. Программа обеспечения качества¹³ ВАБ охватывает виды деятельности, необходимые для достижения надлежащего качества ВАБ, и необходимые виды деятельности с целью удостовериться в том, что надлежащее качество ВАБ достигнуто. Для ВАБ надлежащее качество означает, что конечный продукт достоверен и пригоден для использования и что он соответствует целям и объему ВАБ. В программе обеспечения качества следует применять строгий подход ко всем видам деятельности, влияющим на качество ВАБ, включая, в соответствующих случаях, подтверждение того, что каждая задача выполнена удовлетворительно и что необходимые корректирующие меры приняты.

¹³ В других публикациях Серии норм безопасности МАГАТЭ, включая публикацию Серии норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 2, «Лидерство и менеджмент для обеспечения безопасности» [14], вместо термина «программа обеспечения качества» употребляется термин «система менеджмента». Однако в настоящем Руководстве по безопасности термины «обеспечение качества» и «программа обеспечения качества» были сохранены с целью отражения общепринятой современной практики и терминологии, используемой в области ВАБ.

3.16. Обеспечение качества ВАБ следует рассматривать и реализовывать на практике как неотъемлемую часть проекта ВАБ, а процедуры обеспечения качества следует сделать неотъемлемой частью процедур ВАБ. Процедуры обеспечения качества предусматривают контроль видов деятельности, являющихся составными элементами ВАБ, в области организации, технической работы и документации. Процедуры обеспечения качества, когда они применяются к технической работе, призваны обеспечить согласованности между целями, объемом, методами и допущениями, а также точность при применении методов и выполнении расчетов. Следует обеспечить, чтобы процедуры обеспечения качества охватывали контроль документации ВАБ и контроль различных версий ВАБ. Общие требования к контролю документов установлены в GSR Part 2 [14].

ОБЩИЕ АСПЕКТЫ ДОКУМЕНТАЦИИ ВАБ

Цели и содержание документации ВАБ

3.17. Требование 20 GSR Part 4 (Rev. 1) [3] гласит: **«Результаты и выводы оценки безопасности необходимо документировать»**. Главными целями документации ВАБ должно быть выполнение требований ее пользователей и обеспечение ее пригодности для конкретных форм применения ВАБ. К возможным пользователям документации ВАБ относятся:

- a) организации, эксплуатирующие атомные электростанции (т.е. администрация, инженерно-технический персонал, эксплуатационный персонал и персонал технического обслуживания);
- b) проектные организации и поставщики;
- c) регулирующие органы и лица или организации, оказывающие им техническую поддержку;
- d) прочие государственные органы;
- e) общественность.

Одни пользователи (например, общественность) могут ограничиться изучением краткого отчета по ВАБ, тогда как другие могут использовать всю документацию ВАБ, включая компьютерную модель.

3.18. Документация ВАБ включает в себя рабочие файлы, компьютерные входные и выходные данные с пояснениями, корреспонденцию, промежуточные отчеты и итоговый отчет по ВАБ. Документация ВАБ должна быть полной, упорядоченной, четкой и легко отслеживаемой,

в том числе для целей анализа и обновления. Ее следует представлять в прослеживаемой и последовательной форме (т.е. порядок изложения результатов анализа в итоговой документации должен соответствовать, насколько это возможно, порядку фактического выполнения анализа). Ясное описание допущений, исключений и ограничений для расширения и интерпретации ВАБ также весьма важно для пользователей.

3.19. Документация, входящая в отчет (и/или ссылки на имеющиеся материалы), должна предоставлять всю информацию, необходимую для реконструкции результатов исследования. Все промежуточные вспомогательные анализы, расчеты и допущения, которые не будут опубликованы во внешних отчетах, следует сохранять в виде заметок, рабочих документов или компьютерных файлов. Это важно для реконструкции и обновления каждой отдельной подробности анализа в будущем.

Организация документации

3.20. Итоговый отчет по ВАБ следует разделить на три основные части:

- 1) краткий отчет;
- 2) основной отчет;
- 3) приложения к основному отчету.

3.21. Краткий отчет следует составлять таким образом, чтобы дать общую картину мотивов, целей, объема, допущений, результатов и выводов ВАБ с такой степенью детальности, которая была бы полезна широкому кругу специалистов по безопасности реакторов и подходила бы для рассмотрения на высоком уровне. Краткий отчет составляется с тем, чтобы:

- a) результаты ВАБ могли быть рассмотрены на высоком уровне;
- b) о ключевых аспектах исследования был проинформирован широкий круг заинтересованных сторон;
- c) пользователю были даны ясная система и ориентиры, прежде чем он будет знакомиться с основным отчетом.

3.22. В краткий отчет по ВАБ следует включить подраздел о структуре основного отчета, вкратце описывающий содержание разделов основного отчета и приложений к нему. В этом подразделе краткого отчета следует также указать на взаимосвязи между различными частями ВАБ.

3.23. В основной отчет следует включить ясное и прослеживаемое изложение всего исследования ВАБ, в том числе описание станции, целей исследования, используемых методов и данных, рассматриваемых исходных событий, результатов моделирования станции и заключений, а также рекомендации. Основной отчет вместе с приложениями составляется с тем, чтобы:

- a) результаты ВАБ могли быть рассмотрены на техническом уровне;
- b) заинтересованные пользователи были ознакомлены с подробной ключевой информацией;
- c) модели и результаты ВАБ могли применяться эффективно и различными способами;
- d) были созданы условия для актуализации моделей, данных и результатов в интересах дальнейшего управления безопасностью на станции.

3.24. В приложения следует включать подробные данные, результаты инженерно-технических расчетов и подробные описания моделей. Приложения следует выстроить таким образом, чтобы они могли быть, насколько это возможно, напрямую соотнесены с разделами и подразделами основного отчета.

3.25. Помимо общих рекомендаций относительно документации, предоставленных в настоящем разделе, в разделах 5–9 сформулированы конкретные рекомендации по составлению документации при выполнении ВАБ для различных исходных событий, опасностей и состояний останова.

4. ОЗНАКОМЛЕНИЕ СО СТАНЦИЕЙ И СБОР ИНФОРМАЦИИ

4.1. При подготовке к выполнению ВАБ уровня 1 членам группы ВАБ следует ознакомиться с проектом и эксплуатацией станции, включая аварийные регламенты и регламенты испытаний и технического обслуживания. К источникам информации, которые могут использоваться для ознакомления со станцией, относятся:

- a) отчет по обоснованию безопасности для станции;
- b) технические характеристики станции;

- c) описания систем;
- d) чертежи систем на момент строительства («как есть») (например, схемы системы трубопроводов и приборного оснащения);
- e) чертежи электрических трасс, включая электрические схемы и критерии аварийного отключения системы защиты электрических шин;
- f) чертежи схем управления и запуска;
- g) эксплуатационные регламенты для нормальной эксплуатации, аварийные регламенты, регламенты испытаний и технического обслуживания;
- h) оценки, относящиеся к критериям успеха для систем;
- i) опыт эксплуатации данной станции или однотипных станций в том же государстве или иных государствах, а также отчеты об инцидентах и их анализе;
- j) регистрационные журналы оператора;
- k) результаты бесед с эксплуатационным персоналом;
- l) эксплуатационные записи станции и отчеты об остановках;
- m) базы данных станции и/или компьютеризованная система управления техническим обслуживанием, при наличии таковой;
- n) компоновочные чертежи станции;
- o) схемы расположения и трассировки трубопроводов;
- p) схемы расположения и трассировки кабелей;
- q) отчеты об обходах станции;
- r) требования регулирующего органа;
- s) прочая станционная документация, имеющая отношение к делу.

4.2. Станционные документы, содержащие необходимую для анализа информацию, следует собирать и предоставлять группе ВАБ. В зависимости от объема ВАБ может потребоваться более конкретная информация (например, схема компоновки станции и топографическая карта площадки и прилегающей местности для ВАБ в отношении внешних опасностей). Для получения разъяснений и дополнительной информации может потребоваться взаимодействие с эксплуатационным персоналом, который не входит в состав группы ВАБ.

4.3. В настоящее время во многих государствах выполнение ВАБ является обязательным элементом подготовки отчета по обоснованию безопасности. В данном случае документация ВАБ может содержать ссылки на соответствующие разделы отчета по обоснованию безопасности (например, описания систем). Всю информацию следует снабдить четкими ссылками, чтобы ее можно было легко найти.

4.4. Ознакомление со станцией является ключевым элементом ВАБ для внешних и внутренних опасностей. Для проверки информации об источниках опасности и элементах станции, которые могут быть повреждены при возникновении опасности, следует выполнить тщательный обход станции. Следует дать специальные инструкции по ознакомлению с внешними и внутренними опасностями на станции.

5. ВАБ УРОВНЯ 1 ДЛЯ ВНУТРЕННИХ ИСХОДНЫХ СОБЫТИЙ ПРИ РАБОТЕ СТАНЦИИ НА НОМИНАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ

5.1. В настоящем разделе представлены рекомендации по выполнению требований 6–13 GSR Part 4 (Rev. 1) [3] при проведении ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий. В частности, в нем представлены рекомендации по техническим вопросам, которые следует рассматривать при выполнении ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий, вызванных случайными отказами компонентов и ошибками персонала в режиме работы на номинальной мощности. Общая схема анализа представлена на рис. 1.

ОБЩИЕ АСПЕКТЫ МЕТОДОЛОГИИ ВАБ УРОВНЯ 1

5.2. В качестве первого шага следует определиться с общим подходом и методологией, которые будут использоваться для ВАБ уровня 1. Общий подход и методология должны давать возможность моделировать последовательности отказов, начиная с исходного события, которые могут происходить, а также определять сочетания ошибок оператора с отказами КСЭ, которые могут приводить к повреждению активной зоны.

5.3. При выполнении ВАБ могут использоваться несколько методов. Однако в обычной практике принято использовать сочетание деревьев событий и деревьев отказов. Относительный размер (т.е. сложность) деревьев событий и деревьев отказов является в значительной степени вопросом предпочтений группы, выполняющей анализ, и также зависит от возможностей используемого программного обеспечения.

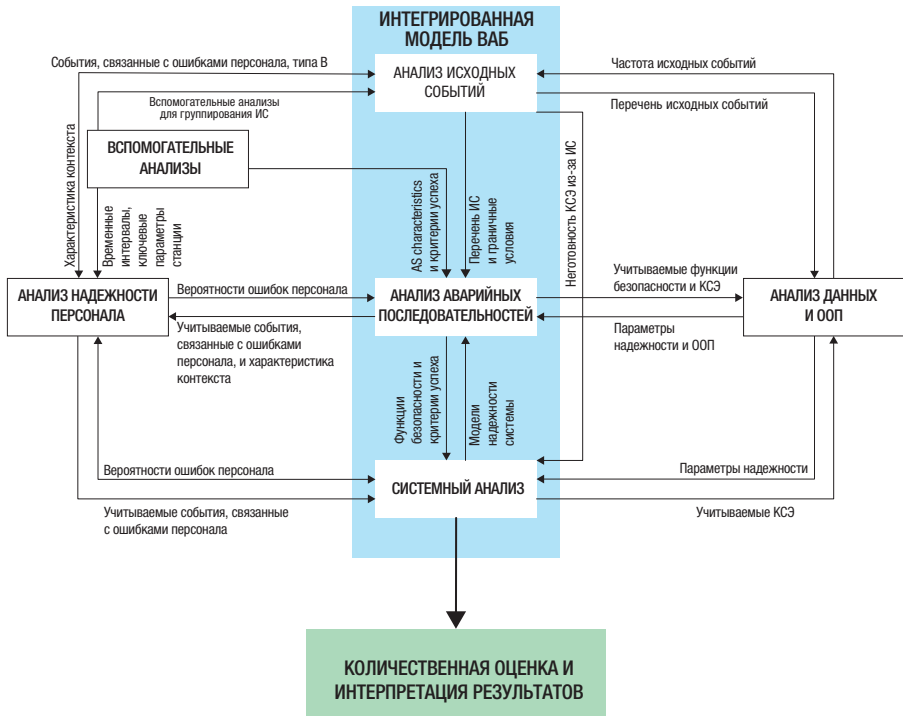


Рис. 1. Общая схема анализа ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий. ИС — исходное событие; АП — аварийная последовательность; ООП — отказ по общей причине.

5.4. Один из широко применяемых подходов состоит в использовании сочетания малых деревьев событий и больших деревьев отказов, и его часто называют методом взаимосвязанных деревьев отказов. Деревья событий описывают общие характеристики аварийных последовательностей, которые берут начало от исходного события и, в зависимости от успеха или отказа учитываемых систем¹⁴, приводят к успешному исходу, к повреждению активной зоны (см. пункты 5.43 и 5.44) или к одному из

¹⁴ «Учитываемые системы» — это системы, принимаемые в расчет при выполнении ВАБ, которые включают в себя работающие и резервные системы безопасности, а также системы, не связанные с безопасностью; работа которых во время аварии может помочь предотвратить нежелательное конечное состояние (например, повреждение активной зоны, повреждение топлива). Кроме того, «учитываемые КСЭ» — это термин, употребляемый в данной публикации для обозначения конкретных конструкций или элементов, принимаемых в расчет при выполнении ВАБ.

состояний повреждения станции (рассматриваемых в ВАБ уровня 2). Деревья отказов используются для моделирования отказа учитываемых систем при выполнении своих функций безопасности. Зависимости (между различными учитываемыми в ВАБ системами или между учитываемой системой и исходным событием) моделируются в деревьях отказов и в деревьях событий.

5.5. Другой подход состоит в проведении анализа с использованием больших деревьев событий и малых деревьев отказов. При данном подходе отказы функций безопасности, учитываемых систем и обеспечивающих систем моделируются в деревьях событий. Данный подход называют методом большого дерева событий, методом взаимосвязанных деревьев событий или методом 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, выводится из дерева событий или ряда деревьев событий или основывается на них.

5.6. Общая цель состоит в том, чтобы выполнить наилучшую оценку частоты повреждения активной зоны, по возможности избегая чрезмерного консерватизма, поскольку это может привести к неоправданному искажению результатов. Таким образом, ВАБ уровня 1 следует выстраивать на основе моделей, допущений и данных наилучшей оценки. Однако там, где присутствует высокий уровень неопределенности, может потребоваться определенный консерватизм, чтобы избежать неоправданного оптимизма. Использование консервативного подхода следует обосновать. В тех случаях, когда наилучшая оценка реакции станции на исходное событие недоступна, можно использовать один или несколько из следующих источников:

- a) граничную детерминистическую оценку;
- b) анализ проекта;
- c) пусконаладочные испытания;
- d) эксплуатационные испытания;
- e) экспертное заключение.

5.7. Для многоблочных станций взаимодействие между энергоблоками (как положительное, так и отрицательное с точки зрения риска) следует рассматривать в ВАБ уровня 1 с точки зрения анализируемого энергоблока. Рекомендации в отношении ВАБ для многоблочной

площадки, разработанные для количественной оценки показателей риска, обусловленного наличием нескольких энергоблоков, представлены в разделе 11¹⁵.

5.8. Следует обеспечить, чтобы модель ВАБ уровня 1 была пригодна к использованию для предполагаемых применений и могла актуализироваться для возможных будущих применений.

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

- a) способностью обрабатывать достаточно большую и сложную логическую модель атомной электростанции;
- b) способностью определять минимальные сечения посредством булевых методов редукции;
- c) способностью квантификации модели ВАБ за достаточно короткий период времени;
- d) способностью давать информацию, необходимую для интерпретации результатов ВАБ уровня 1, такую как частота повреждения активной зоны, доминирующие минимальные сечения, частота минимальных сечений (т.е. сочетаний исходных событий и отказов и/или ошибок персонала, приводящих к повреждению активной зоны), критерии значимости и результаты анализа неопределенности и чувствительности.

5.10. Разработка модели ВАБ уровня 1 — это итеративный процесс, и его следует продолжать до получения точной, достаточно подробной модели.

АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ СОБЫТИЙ

5.11. Отправной точкой ВАБ уровня 1 является определение спектра исходных событий. Исходное событие — это событие, которое нарушает нормальный режим эксплуатации и которое требует принятия эффективных мер по смягчению последствий для предотвращения повреждения активной зоны либо может непосредственно привести к повреждению активной зоны.

¹⁵ При исходных событиях, затрагивающих всю площадку, важно учитывать неблагоприятное воздействие на другие объекты на площадке (например, места для промежуточного сухого хранения топлива для реактора, бассейн выдержки отработавшего топлива) (см. [15, 16]).

5.12. Настоящий раздел посвящен идентификации внутренних исходных событий, которые могут возникать во время работы на номинальной мощности. Общая методология ВАБ уровня 1 для внутренних и внешних опасностей представлена в разделе 6, а подробные рекомендации — в разделах 7 и 8 соответственно. Рекомендации по специфическим вопросам определения исходных событий, которые могут возникать в состояниях останова, представлены в разделе 9; исходные события, которые могут возникать в связи с бассейном выдержки отработавшего топлива, описаны в разделе 10, а исходные события в контексте проведения ВАБ для многоблочной площадки — в разделе 11.

Определение исходных событий

5.13. Для определения спектра внутренних исходных событий, охватываемых ВАБ уровня 1, следует использовать методичный процесс. В него следует включить достаточно полное сочетание различных подходов, в том числе:

- а) изучение результатов детерминистического анализа проектных аварий и анализа запроектных условий, а также отчета по обоснованию безопасности;
- б) определение исходных событий на основе анализа опыта эксплуатации рассматриваемой станции и однотипных станций;
- в) сравнение с перечнями исходных событий, составленными для выполнения ВАБ уровня 1 на однотипных станциях, и с существующими нормами и рекомендациями по безопасности;
- г) аналитические методы, такие как изучение опасностей и работоспособности или анализ видов и последствий отказов, или другие соответствующие методы анализа станционных КСЭ для определения того, могут ли их отказы, частичные или полные, приводить к возникновению исходного события;
- е) дедуктивные методы анализа, такие как построение основных логических блок-схем для определения первичных отказов или сочетаний первичных отказов, которые могут нарушить режим нормальной эксплуатации и привести к исходному событию.

5.14. Спектр внутренних исходных событий, используемых в качестве основы для ВАБ уровня 1, должен быть как можно более полным. Использование достаточно полного сочетания подходов, перечисленных

в пункте 5.13, дает уверенность в том, что спектр исходных событий, определенных для станции, является настолько полным, насколько это возможно.

5.15. При определении исходных событий следует уделять особое внимание всем конструктивным элементам, которые являются новыми или специфическими для рассматриваемой станции, поскольку они могут быть потенциальными источниками новых исходных событий. Это особенно важно для новых атомных электростанций, опыт эксплуатации которых незначителен или отсутствует вовсе и в отношении которых следует предпринимать особые усилия для определения уникальных исходных событий, видов отказа, аварийных последовательностей и зависимостей, составляющих специфику данного проекта. Аналитические методы, указанные в пункте 5.13 (d), следует применять для всех работающих и резервных систем с целью определения возможных исходных событий (или последующих отказов, которые могут представлять собой исходные события), которые могут возникать в результате несрабатывания, частичного несрабатывания или непреднамеренного срабатывания этих систем.

5.16. Основную категорию исходных событий, включенных в ВАБ уровня 1, составляют события, представляющие угрозу для выполнения функций безопасности, таких как отвод тепла от активной зоны реактора, контроль запаса теплоносителя первого контура, поддержание целостности первого контура и управление реактивностью активной зоны.

5.17. В спектр определяемых исходных событий следует включать частичные функциональные отказы или частичные отказы системы (например, сокращение подачи питательной воды в парогенераторы, прекращение подачи питательной воды к одному парогенератору), а также полные отказы (например, полное прекращение подачи питательной воды ко всем парогенераторам). Это важно, поскольку исходные события, связанные с частичными отказами, все же могут вносить значительный вклад в риск.

5.18. В спектр определяемых исходных событий следует включать события, которые могут произойти во всех допустимых эксплуатационных состояниях (например, при работе в условиях, когда один из контуров теплоносителя выведен из эксплуатации).

5.19. В спектр определяемых исходных событий следует включать события с очень низкой частотой возникновения и потенциально значительными последствиями (например, разрыв корпуса реактора, аварии с потерей

теплоносителя во взаимодействующих системах). Включение аварий с потерей теплоносителя во взаимодействующих системах особенно важно, если ВАБ уровня 1 предполагается использовать в качестве основы для ВАБ уровня 2 (и, возможно, ВАБ уровня 3).

5.20. Для станций с более чем одним энергоблоком на площадке следует определить спектр исходных событий, которые могут одновременно повлиять на более чем один энергоблок (например, потеря внешнего энергоснабжения). Кроме того, следует определить события, которые могут возникать на одном из энергоблоков и приводить к исходному событию на другом энергоблоке. Например, для ВАБ уровня 1 в отношении внутренних опасностей исходное событие на анализируемом энергоблоке может быть вызвано ударом летящего предмета в результате разрушения турбины на смежном энергоблоке.

5.21. Спектр исходных событий, определенных для данной станции, следует сравнить со спектром исходных событий для однотипных станций, как указано в пункте 5.13 (с), с целью убедиться в том, что все соответствующие исходные события включены. В случае обнаружения различий следует включать дополнительные исходные события либо представить обоснование того, почему они не имеют значения.

5.22. Следует провести рассмотрение опыта эксплуатации данной атомной электростанции (если она уже эксплуатируется) и однотипных атомных электростанций с целью убедиться в том, что в спектр исходных событий, рассматриваемых в рамках ВАБ уровня 1, включены все фактически происшедшие исходные события. Следует определить и учесть в анализе причины таких исходных событий.

Переходные режимы

5.23. При выполнении ВАБ уровня 1 следует учитывать полный набор переходных режимов, которые могут иметь место. По их принципиальному воздействию на потенциальное ухудшение фундаментальных функций безопасности переходные режимы классифицируются следующим образом:

- а) увеличение отвода тепловыделения от реактора (например, из-за открытия предохранительных клапанов второго контура или разрыва трубопровода подачи питательной воды);

- b) уменьшение отвода тепловыделения от реактора (например, из-за отказа главного трубопровода питательной воды или разрыва трубопровода питательной воды);
- c) снижение расхода в системе теплоносителя реактора (например, из-за аварийного отключения главного циркуляционного насоса, заклинивания насоса или поломки вала);
- d) аномалии реактивности и энерговыделения (например, из-за неконтролируемого извлечения регулирующего стержня, выброса регулирующего стержня или разбавления бора);
- e) увеличение запаса теплоносителя реактора (например, из-за непреднамеренного срабатывания аварийной системы впрыска теплоносителя);
- f) любое другое событие, вызывающее аварийное отключение или немедленный останов реактора (за исключением аварий с потерей теплоносителя).

5.24. В набор переходных режимов следует включать в качестве внутреннего исходного события потерю внешнего энергоснабжения. Исходное событие, связанное с потерей внешнего энергоснабжения, следует характеризовать параметрами частоты возникновения и продолжительности, принимая во внимание вероятность восстановления внешнего энергоснабжения. Эту информацию следует основывать на подробных данных о проекте станции и опыте эксплуатации, связанном с подключением станции к энергосети.

5.25. Если исходное событие «потеря внешнего энергоснабжения» происходит из-за внутренних и внешних опасностей и в явном виде моделируется в соответствующих моделях ВАБ (т.е. ВАБ для внутренних и внешних опасностей), то при определении потери внешнего энергоснабжения для ВАБ в отношении внутренних исходных событий данные причины следует исключать во избежание их двойного учета в рамках ВАБ уровня 1.

5.26. Особое внимание следует уделить случаю потери внешнего энергоснабжения, если за этим следует потеря всех источников питания переменного тока на площадке в последовательности событий. Исследования ВАБ показали, что эта ситуация (известная как обесточивание станции) значительно повышает уровень риска на ряде станций.

5.27. В спектр исходных событий следует также включать отказы обеспечивающих систем (например, систем электроснабжения, пневмосистем, систем охлаждающей воды, систем охлаждения помещений)

и систем контроля и управления. Это особенно важно, если отказ какой-либо обеспечивающей системы может привести к исходному событию и при этом ожидается, что данная обеспечивающая система будет выполнять функцию безопасности после этого исходного события.

Аварии с потерей теплоносителя

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

5.29. В набор определяемых аварий с потерей теплоносителя следует включать всевозможные размеры и места расположения разрывов, которые могут приводить к потере теплоносителя первого контура. Возможные места расположения разрывов следует определять исходя из фактической конструкции и компоновки станции. В набор аварий с потерей теплоносителя также следует включать отказы трубопроводов и арматуры, в частности предохранительных клапанов.

5.30. Следует определить набор аварий с потерей теплоносителя, которые могут приводить к выбросу теплоносителя первого контура за пределы гермооболочки. 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 происходит в обход гермооболочки и, следовательно, недоступна для рециркуляции из приемка гермооболочки.

5.31. Набор определяемых аварий с потерей теплоносителя следует классифицировать и разбивать на группы согласно критериям успеха для КСЭ, которые должны срабатывать с целью предотвращения повреждения активной зоны. Что касается реакторов с водой под давлением, то аварии с потерей теплоносителя, как правило, классифицируются как большие, средние или малые — в основном исходя из того, насколько активно задействуются системы впрыска теплоносителя для смягчения последствий аварии с потерей теплоносителя. В зависимости от конструкции станции для защиты от крайне незначительных аварий с потерей теплоносителя, таких как аварии вследствие повреждения уплотнения главного циркуляционного насоса, могут потребоваться разные комплекты оборудования.

Объединение исходных событий в группы

5.32. Для того чтобы объем аналитической работы, требующейся для ВАБ уровня 1, перед началом анализа аварийных последовательностей оставался в пределах разумного, исходные события следует объединить в группы.

5.33. Если для дальнейшего ограничения размеров модели ВАБ группы исходных событий подвергаются скринингу и некоторые из них исключаются из модели, то критерии такого скрининга следует сообразовывать с целью выполнения ВАБ, чтобы не допустить исключения существенных вкладчиков в риск. Даже если будет выполняться скрининг, может потребоваться пересмотр его критериев для конкретных форм применения ВАБ.

5.34. Исходные события следует объединить в группы, в которых должны быть одинаковыми (или в значительной степени схожими) все нижеследующие свойства исходных событий:

- a) развитие аварии после исходного события;
- b) критерии успеха для учитываемых систем;
- c) влияние исходного события на готовность и эксплуатацию учитываемых систем, включая наличие условий для сигналов, приводящих в действие функции защиты или блокирующих срабатывание систем;
- d) меры реагирования, ожидаемые от эксплуатационного персонала.

5.35. Критерии успеха для учитываемых систем, используемые для конкретной группы исходных событий, должны быть наиболее строгими критериями, применяемыми ко всем отдельным событиям в группе.

5.36. Если в одну группу объединены исходные события с незначительно отличающимися сценариями развития аварий и/или критериями успеха для учитываемых систем, то в рамках анализа аварийных последовательностей следует проводить граничную оценку для всех потенциальных аварийных последовательностей и последствий данных исходных событий.

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

5.38. Исходные события, которые могут приводить к байпасу гермооболочки (например, разрыв труб парогенератора или аварии с потерей теплоносителя в смежных системах) не следует объединять с другими авариями с потерей теплоносителя, при которых гермооболочка сохраняет свою функцию. Этот аспект может быть особенно важен для тех применений, в отношении которых не проводится ВАБ уровня 2, поскольку последствия могут быть более тяжелыми.

5.39. Следует избегать объединения в группу исходных событий для одного энергоблока и для нескольких энергоблоков на одной площадке, учитывая, что объединенные в одну группу исходные события потенциально могут оказать разное воздействие на многоблочную станцию (см. раздел 11).

5.40. В документацию ВАБ уровня 1 следует включать перечень всех исходных событий, определенных для станции, и описание каждого исходного события, а также достаточную информацию о методе, использованном для его определения (например, анализ опасностей и анализ работоспособности, анализ видов и последствий отказов, основную логическую блок-схему, изучение опыта эксплуатации).

АНАЛИЗ АВАРИЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

5.41. Следующий этап анализа заключается в определении реагирования эксплуатационного персонала станции на каждую группу исходных событий, которое основывается на использовании учитываемых систем для выполнения функций безопасности с целью предотвращения повреждения активной зоны. Такие функции безопасности, как правило, включают остановку реактора и поддержание его в подкритическом состоянии, а также отвод тепловыделения от активной зоны реактора (см. пункт 5.47).

5.42. События, определенные в аварийных последовательностях, будут связаны с успехом или неудачей в срабатывании КСЭ и действиях персонала, предпринимаемых при выполнении функций безопасности, требуемых для групп исходных событий. Конечные состояния моделей аварийных последовательностей будут соответствовать либо безопасному стабильному состоянию, если успешно выполнены все необходимые

функции безопасности, либо повреждению активной зоны. Следует разработать критерии для определения того, что означает безопасное стабильное состояние¹⁶.

Повреждение активной зоны

5.43. Следует разработать критерий (или, при необходимости, критерии) для определения того, что можно считать повреждением активной зоны или определенной степенью повреждения активной зоны¹⁷. Например, для легководных реакторов часто считается, 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. Кроме того, могут быть установлены критерии для других нежелательных последствий, таких как избыточное давление корпуса реактора в холодном состоянии, переходный режим при изменении реактивности или кипение в бассейне выдержки отработавшего топлива.

5.44. Определение того, что представляет собой повреждение активной зоны, часто выполняется с помощью косвенного критерия. Например, считается, что повреждение активной зоны реактора с водой под давлением происходит после продолжительного обнажения активной зоны или при превышении максимальной заданной температуры оболочки топлива. Если для возникновения повреждения активной зоны после обнажения активной зоны реактора необходим достаточно длительный период времени, это следует учитывать при формулировании реалистичного определения повреждения активной зоны.

Функции безопасности и критерии успеха

5.45. Для каждой группы исходных событий следует выполнять анализ аварийных последовательностей (см. пункты 5.32–5.40).

¹⁶ Можно задать несколько безопасных стабильных состояний (например, горячий резерв, холодный останов).

¹⁷ Для различной степени повреждения активной зоны можно указать несколько состояний повреждения. Например, в реакторах канального типа обычно рассматривается повреждение разных каналов, в зависимости от тяжести последствий. (Для реакторов типа CANDU и РБМК тяжелым повреждением активной зоны считается обширное физическое повреждение нескольких топливных каналов в результате перегрева, приводящее к потере структурной целостности активной зоны.)

5.46. Для последовательностей, при которых необходимы долгосрочные меры для перехода к безопасному и стабильному конечному состоянию, анализ аварийных последовательностей следует выполнять таким образом, чтобы можно было проанализировать влияние долгосрочных мер. Это позволит аналитикам убедиться в том, что риск, связанный с потенциальной неэффективностью долгосрочных мер, незначителен и что возможные пороговые эффекты будут учтены надлежащим образом.

5.47. 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 будут, как правило, включать следующее:

- a) останов реактора и поддержание его в подкритическом состоянии;
- b) отвод тепловыделения от активной зоны реактора;
- c) поддержание герметичности первого контура.

5.48. Следует определить учитываемые системы и действия эксплуатационного персонала, которые потребуются для выполнения каждой из этих функций безопасности, наряду с соответствующими критериями успеха.

5.49. Действия эксплуатационного персонала, которые будут необходимы для приведения станции в безопасное стабильное состояние, следует определять на основе анализа станционных регламентов. Определение эти действий совместными усилиями эксплуатационного персонала станции, системных аналитиков и специалистов по анализу надежности персонала считается положительной практикой.

5.50. Критерием успеха следует считать минимальный уровень функционирования для каждой учитываемой системы (включая системы со вспомогательными функциями, такими как система подачи технической воды и системы электроснабжения), требуемый для реализации функции безопасности, с учетом специфических особенностей каждой последовательности. Если в процесс вовлечены резервированные каналы учитываемой системы, то критерии успеха следует определять как количество каналов, необходимых для сохранения работоспособности. Если в процесс вовлечено несколько учитываемых систем, то в критериях успеха следует учитывать необходимые функциональные характеристики

каждой из систем. Это может включать частичную работу каждой из систем, подкрепленную обоснованием безопасности, достаточно подробным для обеспечения приемлемого обоснования.

5.51. В критерии успеха для каждого действия эксплуатационного персонала следует учесть время между моментом, когда — исходя из имеющейся информации — действие может быть начато, и первым моментом, когда это действие не приведет к выполнению функции безопасности (с учетом времени, необходимого для диагностики и осуществления необходимого действия).

5.52. При определении критериев успеха следует определять и принимать во внимание системы и элементы, которые учитываются как отвечающие за смягчение последствий исходного события, но которые выходят из строя в результате этого исходного события. Примерами подобных случаев служат обстоятельства, при которых исходное событие включает в себя отказ обеспечивающей системы, например систем электроснабжения или охлаждающей воды, или когда исходное событие приводит к возникновению неблагоприятных условий окружающей среды в месте нахождения оборудования, учитываемого как отвечающее за смягчение последствий события. Любой из этих случаев может привести к отказу необходимых систем. В случае крупной или средней аварии с потерей теплоносителя в реакторе с водой под давлением, если разрыв произойдет в любой нитке соединения с реактором, будет прерван поток из каналов системы аварийного охлаждения активной зоны, связанных с данной ниткой.

5.53. В критериях успеха следует указывать время срабатывания учитываемых систем. Во многих случаях для большинства исходных событий это время считается равным 24 или 48 часам. Время срабатывания следует определить надлежащим образом, чтобы учесть возможные пороговые эффекты и гарантировать, что остаточный риск, накопившийся за время срабатывания, будет ничтожно мал.

5.54. Помимо критериев успеха, в документацию ВАБ уровня 1 для каждого исходного события следует включать перечень функций безопасности, учитываемых систем и действий эксплуатационного персонала, которые требуются для приведения реактора в безопасное стабильное состояние.

Анализ для нужд определения критериев успеха

5.55. Критерии успеха для учитываемых систем следует обосновывать с помощью вспомогательного анализа. Вспомогательный анализ включает в себя теплогидравлический анализ отвода остаточного тепловыделения после переходных режимов и аварий с потерей теплоносителя и нейтронно-физический анализ для режимов останова реактора и его удержания в остановленном состоянии. Вспомогательный анализ следует по возможности базировать на данных по конкретной станции и выполнять его с учетом наилучшей практики использования аттестованных и достоверных компьютерных кодов.

5.56. По мере возможности в ВАБ уровня 1 следует определять и использовать реалистичные критерии успеха, основанные на вспомогательном анализе с использованием наилучшей оценки (см. SSG-2 (Rev. 1) [5]).

5.57. Если в ВАБ уровня 1 в отношении некоторых учитываемых систем при любой аварийной последовательности использовались консервативные критерии успеха, основанные на консервативном проектном анализе, на это следует указывать, а результаты всего анализа следует тщательно проверять, для того чтобы подобного рода консерватизм не доминировал над риском и, следовательно, не затруднял осмысление выводов, сделанных на основе ВАБ уровня 1.

5.58. Компьютерные коды следует использовать только в пределах оговоренной области применения и только квалифицированными пользователями данных кодов.

Моделирование аварийных последовательностей

5.59. Следует определять аварийные последовательности, которые могут возникать после каждой группы исходных событий. Это может быть сделано путем построения дерева событий для каждой группы исходных событий, при помощи которого моделируется срабатывание или отказ учитываемых систем и обеспечивающих систем и успешность или неудача действий персонала при выполнении функций безопасности. Составление, перед построением дерева событий, подробных диаграмм последовательности событий, включая взаимодействие персонала, считается положительной практикой.

5.60. В дереве событий для группы исходных событий следует отразить все функции безопасности, подлежащие выполнению, и учитываемые системы, которые должны функционировать согласно критериям успеха. Заголовки конкретного дерева событий обычно соответствуют состоянию учитываемых систем передней линии (т.е. успех или отказ) для группы исходных событий. Заголовки могут также включать любые действия эксплуатационного персонала, которые напрямую влияют на развитие аварийной ситуации, особенно действия, выполняемые в соответствии с аварийными эксплуатационными регламентами. В качестве заголовка может также использоваться любое другое событие, оказывающее прямое и существенное влияние на данную последовательность.

5.61. В структуре дерева событий следует учитывать временную последовательность событий, указанных в заголовках дерева событий, отражающих действия эксплуатационного персонала или приведение в действие систем. Наиболее естественным способом считается расположение заголовков в хронологическом порядке, исходя из временной последовательности требований, предъявляемых к системам или эксплуатационному персоналу. Однако иногда заголовки могут быть выстроены по-другому, чтобы упростить обработку зависимостей или уменьшить размер модели.

5.62. В структуре дерева событий следует учитывать функциональные и физические зависимости (см. пункт 5.90), которые могут возникать в результате исходного события, отказов оборудования или ошибок персонала.

5.63. В анализ аварийных последовательностей следует включать все соответствующие сочетания успеха или отказа учитываемых систем при реагировании на группу исходных событий и в нем следует указывать все аварийные последовательности, приводящие либо к благоприятному исходу, при котором достаточное количество учитываемых систем работает в штатном режиме и в отношении исходного события выполняются все необходимые функции безопасности, либо к состоянию повреждения активной зоны.

Конечные состояния аварийных последовательностей и состояния повреждения станции

5.64. В анализе аварийных последовательностей определяются i) аварийные последовательности, при которых все требуемые функции безопасности выполняются, так что повреждения активной зоны (или других нежелательных последствий) не возникает, и ii) аварийные последовательности, при которых одна или несколько функций безопасности не выполняются, и поэтому считается, что происходит повреждение активной зоны. Данного различия, как правило, достаточно, если ВАБ предполагается ограничить уровнем 1. Однако если цель состоит в использовании результатов ВАБ уровня 1 в качестве исходных данных для ВАБ уровня 2, то принято объединять аварийные последовательности, ведущие к повреждению активной зоны, в группы сообразно состояниям повреждения станции, что будет отправной точкой для установления связи между ВАБ уровня 1 и ВАБ уровня 2. Состояния повреждения станции определяются на основании требований ВАБ уровня 2 (см. SSG-4 [4]), но могут быть с успехом включены в моделирование ВАБ уровня 1, а затем соответствующим образом обновлены при выполнении ВАБ уровня 2.

5.65. При выполнении ВАБ уровня 2 следует определять набор состояний повреждения станции, учитывающий характеристики каждой аварийной последовательности, приводящей к повреждению активной зоны, которая может повлиять на реакцию гермооболочки или привести к выбросу радиоактивного материала в окружающую среду. Состояния повреждения станции следует определять совместными усилиями специалистов по ВАБ уровня 1 и специалистов по ВАБ уровня 2 (см. SSG-4 [4])¹⁸.

5.66. Характеристики, задаваемые для состояния повреждения станции, как правило, определяются специалистами по анализу, но обычно они включают в себя следующее:

- а) тип происшедшего исходного события (например, исходное событие с неповрежденным первым контуром или авария с потерей теплоносителя);

¹⁸ Комбинация конечных состояний в рамках ВАБ уровня 1, включающих тяжелые повреждения активной зоны и отказы подсистем гермооболочки, может быть получена с помощью интерфейсных деревьев событий (см. SSG-4 [4]).

- b) произошедшие отказы учитываемых систем (например, системы аварийной защиты реактора, системы отвода остаточного тепловыделения или системы аварийного охлаждения активной зоны), которые привели к повреждению активной зоны;
- c) уровень давления в первом контуре (например, высокий или низкий) во время повреждения активной зоны;
- d) момент, когда произошло повреждение активной зоны (например, раньше или позднее времени аварийного отключения реактора);
- e) целостность гермооболочки (например, неповрежденная, поврежденная, повреждение изоляции, байпас вследствие разрыва трубы парогенератора или аварии с потерей теплоносителя в смежных системах);
- f) аварию с потерей теплоносителя с возможностью или без возможности понижения давления (например, для кипящих реакторов);
- g) состояние бассейна (переохлажденный или насыщенный) в момент повреждения активной зоны (например, для кипящих реакторов);
- h) готовность систем защиты гермооболочки (таких как спринклерная система, системы отвода тепловыделения, устройства смешивания или рекомбинаторы водорода);
- i) наличие электропитания переменного и постоянного тока и связанное с ним время восстановления состояния;
- j) предпринятые и оказавшиеся неудачными действия эксплуатационного персонала.

Приведенный выше список относится к выполнению ВАБ для работы на номинальной мощности. Дополнительные характеристики, применимые для состояний останова, приведены в пункте 9.34.

5.67. Таким образом, аварийные последовательности, приводящие к повреждению активной зоны (отвечающие критериям, определенным в пункте 5.43), следует характеризовать в соответствии с общим физическим состоянием станции, к которому приводит каждая аварийная последовательность, и возможной готовностью учитываемых систем, которые могут предотвратить или уменьшить выброс радиоактивного материала.

5.68. В документации ВАБ уровня 1 следует представлять деревья событий, построенные для определения развития аварийных последовательностей. Для лучшего понимания следует привести описание логического принципа, на котором основано дерево событий, поскольку само по себе дерево событий не дает никакой аргументации, а показывает только результаты

рассуждений. Следует также предоставить пояснительную информацию к заголовкам дерева событий (например, отображает ли заголовок простую функцию либо сложное событие, в котором под одним заголовком скрывается более одной функции). Допущения, сделанные при построении дерева событий, и соответствующие определения заголовков следует четко изложить и обосновать.

5.69. В документации следует также описывать состояния повреждения станции и пояснять, как они были определены.

АНАЛИЗ СИСТЕМ

5.70. Следующий этап анализа заключается в моделировании отказов учитываемых систем, определенных в анализе аварийных последовательностей. Если это делается посредством анализа дерева отказов, то верхнее событие дерева отказов принимается в качестве состояний отказа учитываемой системы, определенных в анализе дерева событий. Деревья отказов позволяют проанализировать всю цепочку вплоть до уровня отдельных базисных событий, которые, как правило, включают отказы компонентов (например, отказы насосов, клапанов или дизель-генераторов), неготовность компонентов в периоды технического обслуживания или испытаний, отказы резервных компонентов по общей причине и события, связанные с человеческим фактором, которые возникают вследствие ошибок персонала.

5.71. Размеры деревьев отказов, которые необходимо выстраивать, зависят от размера и сложности дерева событий; чем детальнее дерево событий, тем менее сложным будет дерево отказов¹⁹.

Анализ деревьев отказов

5.72. Деревья отказов могут использоваться для построения полной логической модели отказов для всех состояний отказа учитываемых систем, определенных в ходе анализа дерева событий.

¹⁹ Для конкретных аспектов ВАБ допустимо и возможно использование других методов. Однако обычным подходом считается использование сочетания деревьев событий и деревьев отказов, и в настоящей публикации подразумевается использование именно этого подхода (см. пункты 5.4–5.6).

5.73. Критерий отказа, который служит верхним событием дерева отказов для каждой функции безопасности, должен быть логической противоположностью критерия успеха для аварийной последовательности, описанной в пунктах 5.50–5.58. В некоторых случаях для одной и той же учитываемой системы может потребоваться более одной модели дерева отказов в целях учета критериев успеха, определенных для разных групп исходных событий или в разных ответвлениях дерева событий, в зависимости от последовательности событий до задействования системы. Это может быть достигнуто путем построения разных моделей деревьев отказов или использования логических операторов (известных как события типа «дом») для отключения или включения соответствующих частей модели дерева отказов, в зависимости от критерия успеха.

5.74. Базисные события, моделируемые в деревьях отказов, следует согласовывать с имеющимися данными по отказам компонентов. Границы компонентов и виды отказа компонентов, смоделированные в деревьях отказов, следует согласовывать с теми, которые определены в данных по отказам компонентов. Это в равной мере применимо как к активным, так и к пассивным компонентам.

5.75. Модели деревьев отказов следует разрабатывать до уровня значимых видов отказа отдельных компонентов (например, насосов, клапанов, дизель-генераторов) и отдельных ошибок персонала и в них следует включать все базисные события, которые могут приводить — непосредственно либо в сочетании с другими базисными событиями — к верхнему событию дерева отказов. Уровень детальности анализа, как правило, определяется специалистом по анализу, однако, он должен быть достаточным для фиксации возможных зависимостей и должен согласовываться с имеющимися данными по отказам компонентов системы и предполагаемыми формами применения ВАБ уровня 1.

5.76. Спектр базисных событий, моделируемых в деревьях отказов, следует определять посредством методичного анализа (например, анализа вида отказа и анализа последствий, выполняемых в рамках оценки проекта с целью определения важных видов отказа компонентов) и рассмотрения действий эксплуатационного персонала, подкрепляемого анализом задач для определения потенциальных ошибок персонала.

5.77. В модель дерева отказов следует включать все компоненты учитываемой системы, которые должны быть в исправном состоянии, включая компоненты обеспечивающих систем. В нее также следует

включать пассивные компоненты, отказ которых может повлиять на работу системы (например, засорения фильтров, течи в трубах). Модель дерева отказов следует разрабатывать таким образом, чтобы зависимости были учтены в явном виде. Если явное моделирование этих зависимостей выполнено не будет, это может стать причиной значительного искажения результатов и недооценки относительной значимости обеспечивающих систем.

5.78. Степень разделения компонентов в дереве отказов следует сделать достаточной для обеспечения возможности моделирования всех зависимостей технических средств. Например, если одна и та же система обеспечивает поступление охлаждающей воды к ряду компонентов, то эту систему следует моделировать в явном виде. При определении уровня разделения следует также учитывать имеющиеся данные о надежности компонентов. Например, данные о надежности могут иметься для насоса в целом, но не для его составных частей, таких как рабочее колесо, муфта и подшипник. Кроме того, при определении степени разделения компонентов в дереве отказов следует учитывать информацию из ВАБ о значимости стационарного оборудования или его отдельных частей с точки зрения риска.

5.79. В случае объединения отдельных компонентов в группы и использования комплексного события для моделирования их отказа, следует продемонстрировать, что виды отказа каждого компонента в комплексном событии имеют те же последствия для системы, что и само комплексное событие. Кроме того, следует обеспечить, чтобы все комплексные события, включенные в модель, были функционально независимыми (т.е. никакой отдельный компонент не должен фигурировать более чем в одном комплексном событии или в другом месте в качестве базисного события).

5.80. В моделях деревьев отказов следует учитывать отдельные компоненты или каналы оборудования в учитываемых системах, которые на протяжении срока службы станции могут выводиться из эксплуатации для испытаний, технического обслуживания или ремонта. Такие компоненты или каналы оборудования следует идентифицировать и моделировать в явном виде в анализе дерева отказов. Это может быть сделано, например, путем включения в деревья отказов базисных событий, отображающих простой компонентов.

5.81. Способ моделирования неготовности систем вследствие испытаний и технического обслуживания следует согласовывать с техническими характеристиками станции²⁰, практикой испытаний и технического обслуживания станции и опытом эксплуатации, если таковой имеется.

5.82. Следует разработать систему уникального кодирования или маркирования каждого из логических элементов и базисных событий в моделях деревьев отказов и единообразно применять эту систему ко всей логической модели, разработанной для ВАБ уровня 1.

5.83. Разработку модели следует увязывать с предполагаемыми формами применения ВАБ уровня 1. Например, если ВАБ уровня 1 предполагается использовать для такого применения, как монитор риска, модель следует сделать симметричной, чтобы она в явном виде отображала исходные события во всех местах, где они могут происходить, включая все петли первого контура, все каналы учитываемых систем и все работающие и резервированные каналы систем нормальной эксплуатации. Разработка симметричной модели даст возможность простого применения критериев значимости, рассчитанных с помощью кода для ВАБ уровня 1 (примеры критериев значимости см. в пункте 5.171).

Информация о системе

5.84. Для того чтобы разрабатываемая логическая модель имела под собой надежную и поддающуюся проверке основу, следует подготовить функциональные описания каждой из систем, учитываемых в ВАБ уровня 1. Эти функциональные описания, как правило, включают в себя следующее:

- a) функцию системы и ее эксплуатационные режимы;
- b) границы системы;
- c) сопряжения с другими системами;
- d) потенциальные виды отказа системы;
- e) моделируемое эксплуатационное состояние (для систем с более чем одним состоянием);
- f) компоненты, которые должны функционировать или изменять свое состояние и свою нормальную конфигурацию;
- g) срабатывают ли компоненты вручную или автоматически;

²⁰ При моделировании отключений с целью технического обслуживания обычно исходят из того, что станция эксплуатируется в рамках предельных условий эксплуатации, указанных в технических характеристиках.

- h) условия, необходимые для получения компонентами автоматических сигналов.

5.85. Для каждой учитываемой системы следует подготовить упрощенную структурную схему, показывающую, каким образом система смоделирована в дереве отказов, включая:

- a) все компоненты системы, смоделированные в дереве отказов;
- b) конфигурации компонентов при нормальной эксплуатации;
- c) участки труб или проводки, соединяющие компоненты;
- d) сопряжения с обеспечивающими системами (электропитания, контроля и управления, охлаждения, вентиляции).

5.86. Функциональные описания и схема, подготовленные для учитываемой системы, должны обеспечивать четкую основу для разработки деревьев отказов. В документации ВАБ уровня 1 следует дать объяснение, как данная информация использовалась при разработке деревьев отказов.

АНАЛИЗ ЗАВИСИМЫХ ОТКАЗОВ

5.87. Особое внимание в логической модели, разрабатываемой для ВАБ уровня 1, следует уделять трактовке зависимостей. В ВАБ, проводившихся в прошлом, зависимые отказы зачастую являлись одним из главных факторов, определявших частоту повреждения активной зоны.

5.88. Могут возникать четыре разных типа зависимостей:

- a) функциональные зависимости — это зависимости, являющиеся результатом условий на станции (например, невозможность сбрасывания давления является причиной неготовности системы впрыска низкого давления), и зависимости, обусловленные совместным использованием компонентов, общностью систем приведения в действие, общностью требований к изоляции или общностью обеспечивающих систем (например, электропитания, контроля и управления, охлаждения, вентиляции);
- b) физические зависимости (также называемые зависимостями пространственного взаимодействия) вследствие исходного события, которое может вызвать отказ учитываемых КСЭ. Отказ может произойти в результате биения трубы, удара летящего предмета, ударного воздействия струи или воздействия окружающей среды;

- с) зависимости, обусловленные взаимодействием персонала, вследствие ошибок, совершаемых персоналом станции, которые либо вызывают исходное событие, либо способствуют его возникновению, либо становятся причиной неготовности или отказа одного или нескольких учитываемых КСЭ до такой степени, что они не срабатывают после исходного события, когда это необходимо;
- д) зависимости, обусловленные отказами компонентов, вследствие сходства проектов, ошибок при изготовлении или монтаже или ошибок, совершаемых персоналом станции во время эксплуатации станции. Эти зависимости рассматриваются в ходе анализа отказов по общей причине (см. пункты 5.93–5.96).

5.89. Следует проводить методичное рассмотрение проекта и эксплуатации станции с целью определения всех потенциальных зависимостей, которые могут возникать, становясь причиной неготовности компонентов учитываемых систем или снижения надежности обеспечиваемой ими защиты от исходных событий.

5.90. Все функциональные и физические зависимости следует моделировать в явном виде. Следует также моделировать зависимости, обусловленные взаимодействием персонала и отказами компонентов; они рассматриваются ниже в пунктах 5.93–5.96, посвященных анализу отказов по общей причине, и пунктах 5.97–5.122 по анализу надежности персонала.

5.91. Все функциональные зависимости, которые могут возникать в системах, следует учитывать в модели дерева отказов. Их следует идентифицировать и моделировать в явном виде в модели ВАБ. У специалистов по анализу положительной практикой считается сведение всех этих зависимостей в таблицу системных зависимостей, которая может служить основой для построения деревьев отказов и быть полезной при проверке этих деревьев. Функциональные зависимости не следует включать вместе с зависимостями, обусловленными отказами компонентов, в вероятности отказа системы по общей причине.

5.92. При анализе деревьев отказов следует идентифицировать и в явном виде моделировать межсистемные функциональные зависимости, которые могут возникать из-за общности компонентов или обеспечивающих систем. При использовании метода взаимосвязанных деревьев событий (см. пункт 5.5) межсистемные функциональные зависимости могут анализироваться при помощи метода граничных условий. Подобные зависимости могут возникать в отдельных учитываемых системах,

выполняющих одну и ту же функцию безопасности, либо в связанных с ними обеспечивающих системах. Их необходимо в явном виде включать в деревья отказов.

АНАЛИЗ ОТКАЗОВ ПО ОБЩЕЙ ПРИЧИНЕ

5.93. Комплекты резервного оборудования, в которых могут возникать зависимости, обусловленные отказами компонентов, следует идентифицировать и включать в модель ВАБ уровня 1 для отказов этих компонентов по общей причине. Существует ряд методов моделирования в ВАБ уровня 1 отказов по общей причине, и выбранный метод следует по возможности подкреплять собранными данными. Рассмотрение как внутрисистемных, так и межсистемных событий, вызванных отказами по общей причине, считается положительной практикой.

5.94. Отказы по общей причине, которые могут влиять на группы резервных компонентов, следует идентифицировать и моделировать с использованием соответствующих функций программного обеспечения ВАБ. Это часто выполняется в деревьях отказов. При анализе следует идентифицировать все соответствующие группы компонентов и виды отказа. Все допущения, которые делаются в отношении мер защиты от отказов по общей причине, следует указывать в документации ВАБ уровня 1.

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

5.96. По мере возможности вероятности отказов по общей причине следует основывать на данных по конкретной станции и учитывать в них обобщенные данные и данные об эксплуатации однотипных станций. Если для вычисления вероятностей отказов по общей причине предполагается использовать типовые параметры отказов по общей причине, то следует проанализировать и обосновать применимость этих значений. Границы компонентов, виды отказа и первопричины отказа в используемых источниках обобщенных данных должны соответствовать тем, которые приняты в ВАБ. Если для назначения параметров отказов

по общей причине (при отсутствии данных по конкретной станции и обобщенных данных) предполагается использовать экспертное заключение, то для этих данных следует представить соответствующее обоснование. Назначенные параметры неопределенности должны быть соизмеримы с неопределенностью в процессе определения параметров отказа по общей причине. Примером ситуации, когда в наличии могут иметься только обобщенные данные, является выполнение ВАБ на этапе проектирования новой атомной электростанции.

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ПЕРСОНАЛА

5.97. Ошибки персонала, которые могут привести к невыполнению функций безопасности или отказу учитываемых систем, следует идентифицировать и включить в логическую модель. Следует применять структурированный и методичный подход к идентификации событий, связанных с ошибками персонала, учету влияния таких событий на логическую модель станции (т.е. деревья событий и деревья отказов) и количественной оценке вероятностей таких событий (т.е. вероятностей ошибок персонала). Структурированный и методичный подход даст уверенность в том, что для определения вклада всех видов ошибок персонала в частоту повреждения активной зоны был проведен всеобъемлющий анализ. Полезной отправной точкой может стать сравнение выбранного подхода с одним из подходов, обычно используемым для проверки выполнения всех необходимых шагов для анализа надежности персонала.

5.98. Рекомендации, приведенные в пунктах 5.99–5.121, касаются методов, которые чаще всего используются для анализа надежности персонала в ВАБ уровня 1 (см. [17]). Процесс анализа надежности персонала должен включать четыре следующих итеративных шага:

- 1) идентификация и определение событий, связанных с ошибками персонала, для рассмотрения в ВАБ;
- 2) качественная оценка событий, связанных с ошибками персонала;
- 3) количественная оценка событий, связанных с ошибками персонала;
- 4) интегрирование в модель ВАБ.

5.99. Для анализа надежности персонала существует широкий спектр методов, и прогресс в данной области не стоит на месте. Выбранный метод следует применять и документировать последовательно и корректно. Когда

метод анализа надежности персонала используется вне его первоначальной области применения или дополняется либо заменяется экспертными заключениями, этот процесс следует четко задокументировать, приведя достаточные обоснования для обеспечения надлежащего процесса анализа надежности персонала.

5.100. Целью количественной оценки в рамках анализа надежности персонала должен быть расчет вероятностей ошибок персонала, согласующихся друг с другом во всех частях ВАБ уровня²¹.

5.101. Для учета конструктивных особенностей станции и ее эксплуатации в нормальных и аварийных условиях анализ надежности персонала следует проводить в тесном сотрудничестве с эксплуатационным персоналом и персоналом технического обслуживания станции. Если это невозможно (например, в случае, если анализ предполагается провести на стадии проектирования станции), аналитикам следует использовать информацию об однотипных станциях либо четко указать, на каких допущениях основывается анализ.

Идентификация и определение событий, связанных с ошибками персонала

5.102. Для идентификации и определения всех типов событий, связанных с ошибками персонала, которые должны быть включены в ВАБ уровня 1, следует применять структурированную и методичную процедуру.

5.103. В анализ надежности персонала следует включать события, связанные с ошибками персонала, которые происходят до наступления исходного события и которые могут стать причиной отказа или неготовности учитываемых систем (т.е. события, связанные с ошибками персонала, типа А). Эти события могут произойти в процессе инспекций, технического обслуживания, испытаний, ремонта или калибровки. Если такие события останутся незамеченными, то после наступления исходного события соответствующий компонент или группа компонентов окажутся неработоспособными. Особое значение имеют отказы, которые

²¹ Необходимо также обсудить неопределенности моделирования, связанного с определением вероятности ошибок персонала, поскольку такое обсуждение закладывает основу для анализа чувствительности и повышает достоверность значений вероятности ошибок персонала.

потенциально могут стать причиной неготовности одновременно нескольких каналов учитываемых систем. Такие причины неготовности включаются в модели на уровне компонентов, каналов или систем.

5.104. Для идентификации событий, связанных с ошибками персонала, которые могут возникнуть в процессе выполнения задач по инспектированию, техническому обслуживанию, испытаниям, ремонту и калибровке, выполняемых эксплуатационным персоналом в отношении учитываемых систем (событий, связанных с ошибками персонала, типа А), следует проводить методичный анализ станционных регламентов. В ходе этого анализа следует определить вероятность возникновения таких событий и влияние этих потенциальных событий на неготовность или отказ учитываемых КСЭ.

5.105. Для определения событий, связанных с потенциальными ошибками персонала, которые могут стать причиной исходного события (событий типа В), следует проводить методичный анализ станционных регламентов и опыта эксплуатации. Следует как минимум убедиться в том, что этот тип событий, связанных с ошибками персонала, учтен при оценке частот исходных событий, используемой в анализе.

5.106. Для идентификации событий, связанных с ошибками персонала, которые могут происходить во время критически важных действий, предпринимаемых эксплуатационным персоналом после возникновения исходного события (событий типа С), следует проводить методичный анализ станционных регламентов. В ходе этого анализа следует определять потенциальную возможность возникновения событий, связанных с ошибками персонала, и влияние этих потенциальных ошибок на развитие аварийного сценария и на неготовность или отказ компонента, системы или функции безопасности. События типа С, связанные с ошибками персонала, как правило, вносят значительный вклад в частоту повреждения активной зоны.

5.107. Следует принимать во внимание существенные ошибки, вызванные неправильными действиями (например, неправильное выполнение необходимой задачи или действия или выполнение посторонней задачи, которая не является необходимой и может усугубить развитие аварии или вызвать исходное событие). Вследствие этого могут возникнуть дополнительные аварийные последовательности. Хотя методичное моделирование ошибок, вызванных неправильными действиями, еще не

стало общепринятой практикой, оно может дать полезную информацию для улучшения человеко-машинного интерфейса и снижения вероятности ошибок как результата неправильных действий (см. [17]).

5.108. Действия по выполнению ремонтных работ (например, замена электродвигателя на клапане для его функционирования) следует учитывать в ВАБ только в том случае, если имеется веское обоснование их целесообразности. Методы анализа надежности персонала не всегда могут быть использованы для ремонтных работ, поскольку метод ремонта зависит от конкретного случая. Учет ремонтных работ может быть оправдан, если известен конкретный вид отказа оборудования для конкретной последовательности и i) неисправность может быть быстро диагностирована, ii) запасные части и ремонтный персонал имеются в наличии, iii) имеются или могут быть созданы необходимые условия окружающей среды и рабочие условия для выполнения ремонта и iv) временной интервал достаточно велик, чтобы можно было с уверенностью допустить возможность ремонта, включая время, необходимое для доставки запасных частей и ремонтного персонала на станцию. В контексте ВАБ восстановление определяется как возобновление действия функции, утраченной в результате отказа КСЭ, путем устранения или компенсации их неисправности. Восстановлением может заниматься эксплуатационный персонал, ремонт — нет. Правильность действий по восстановлению и ремонту следует документально фиксировать.

5.109. Действия, которые могут быть расценены как «героические» (например, для выполнения действия эксплуатационный персонал входит в зону с чрезвычайно высоким уровнем радиации), или действия, которые выполняются без какого-либо письменного регламента или обучения, не следует включать в анализ или учитывать в нем как обычную практику, хотя из этого правила могут быть сделаны обоснованные исключения (например, в случае длительных событий).

5.110. Оценку надежности персонала в контексте применения портативного оборудования следует проводить в соответствии с теми же общим принципам, что и весь процесс анализа надежности персонала. Если применяемый метод анализа надежности персонала не учитывает все ключевые факторы, связанные с использованием портативного оборудования, данный метод следует адаптировать и дополнить таким образом, чтобы эти факторы были приняты во внимание.

Качественная оценка событий, связанных с ошибками персонала

5.111. Качественная оценка событий, связанных с ошибками персонала, должна включать сбор, анализ и документирование информации, имеющей отношение к анализу, для понимания задач персонала, причастного к упомянутым событиям, которые являются предметом анализа надежности персонала.

5.112. В зависимости от обстоятельств информацию следует собирать из следующих источников:

- a) письменный регламент;
- b) посещения соответствующих мест на станции;
- c) анализ опыта эксплуатации;
- d) собеседования, обсуждения и обходы с эксплуатационным персоналом и инструкторами;
- e) информация об обучении эксплуатационного персонала на станционном тренажере;
- f) теплогидравлический анализ;
- g) другие составные части ВАБ, как правило записи результатов системного анализа и анализ аварийных последовательностей.

5.113. Итогом качественной оценки должна стать характеристика событий, связанных с ошибками персонала, с тем чтобы можно было адекватно выполнить количественную оценку и моделирование. Это обычно достигается с помощью следующих основных действий:

- a) анализ задач для получения детального представления о действиях, необходимых для выполнения критериев успеха в случае событий, связанных с ошибками персонала;
- b) контекстная характеристика для описания сценария и условий работы, определяющих деятельность персонала в случае событий, связанных с ошибками персонала (например, временные ограничения, письменный регламент, соответствующие подсказки);
- c) идентификация ошибок для выявления когнитивных и ручных действий, которые приводят к событиям, связанным с ошибками персонала;
- d) установление характеристик ошибок для определения, обоснования и характеристики потенциала и механизмов исправления выявленной ошибки.

Эти действия по качественной оценке применимы ко всем типам событий, связанных с ошибками персонала (т.е. к событиям типа А, В и С), и ко всем областям ВАБ (см. [17]).

5.114. Для вновь проектируемых атомных электростанций многие источники качественной информации, перечисленные в пункте 5.113, могут быть недоступны. В таких случаях следует использовать информацию по однотипным станциям. Если это невозможно, для выполнения перечисленных выше действий следует использовать экспертное заключение. В любом случае соответствие качественной информации фактическому состоянию станции следует позднее подтвердить и при необходимости ВАБ следует актуализировать.

Количественная оценка событий, связанных с ошибками персонала

5.115. Полученные вероятности ошибок персонала должны отражать конкретные сценарии и учитывать факторы, которые могут повлиять на работу эксплуатационного персонала, включая уровень стресса, имеющееся время на выполнение задачи, наличие эксплуатационных регламентов, уровень подготовки и условия окружающей среды. При необходимости следует учитывать и другие значимые факторы. Эти факторы (часто называемые «факторами, влияющими на работоспособность персонала») следует идентифицировать при помощи качественной оценки²².

5.116. Метод, используемый для расчета вероятностей ошибок персонала, следует согласовывать с методами, обычно используемыми в ВАБ, либо его применение следует четко обосновать.

5.117. Хотя для разных типов событий, связанных с ошибками персонала (т.е. для событий типа А, В и С), могут применяться разные методы количественной оценки, для оценки однотипных событий, связанных с ошибками персонала, следует использовать один и тот же подход к анализу надежности персонала (т.е. метод анализа надежности персонала или комбинацию методов), чтобы обеспечить последовательность в анализе. Если для одного и того же типа событий, связанных с ошибками персонала, используются разные подходы, причины их выбора следует документально зафиксировать.

²² Считается, что на вероятности ошибок персонала будет также влиять уровень культуры безопасности на станции. Однако в настоящее время согласованного способа учета культуры безопасности при оценке вероятностей ошибок персонала не существует.

5.118. Следует оценить значимость риска²³ возникновения событий, связанных с ошибками персонала, чтобы понять, какие события следует подвергнуть более детальному анализу. Количественная оценка событий, связанных с ошибками персонала, часто проводится в два этапа:

- 1) скрининговая оценка, при которой применяется простая модель количественной оценки;
- 2) детальная оценка, при которой учитывается больше факторов и более подробно описывается контекст, в частности для действий эксплуатационного персонала, сопряженных с наибольшим риском.

При таком подходе следует обеспечить, чтобы после этапа скрининговой оценки была точно охарактеризована значимость рисков возникновения событий, связанных с ошибками персонала, чтобы можно было выявить значимые с точки зрения риска события, связанные с ошибками персонала, которые нуждаются в более детальной оценке.

5.119. В оценку событий типа С для внутренних и внешних опасностей следует включить описанные ниже элементы.

- a) События, связанные с ошибками персонала, которые включены в ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий, но также имеют отношение к сценариям, вызванным внутренними или внешними опасностями. В таких случаях может возникнуть необходимость в пересмотре оценки факторов, влияющих на работоспособность персонала, поскольку эксплуатационному персоналу может быть труднее выполнять действия, чем при базовом сценарии (например, из-за более высокого уровня стресса, связанного с опасностью).
- b) События, связанные с ошибками персонала, которые имеют отношение только к конкретной опасности (например, пожаротушение с использованием переносных средств пожаротушения). Методы, используемые для оценки событий, связанных с ошибками персонала, применительно к конкретной опасности, обычно могут основываться на тех же принципах, что и методы, используемые для анализа других типов событий, связанных с ошибками персонала.

²³ Термины «важность риска» и «значимость риска» в равной мере широко используются специалистами по ВАБ и являются взаимозаменяемыми.

- с) Нежелательные меры, принимаемые эксплуатационным персоналом в ответ на ложные сигналы тревоги и ложную индикацию приборов. Более подробную информацию об идентификации и оценке нежелательных действий эксплуатационного персонала можно найти в [18].

Дополнительные рекомендации по анализу надежности персонала применительно к конкретной опасности приведены в разделах 7 и 8.

Трактовка зависимостей между событиями, связанными с ошибками персонала

5.120. Анализ зависимых событий, связанных с ошибками персонала, следует сделать частью общего процесса анализа надежности персонала (т.е. идентификации, качественной оценки, количественной оценки, интегрирования событий, связанных с ошибками персонала, в модель ВАБ). В логической модели могут наблюдаться взаимозависимости между включенными в нее отдельными событиями, связанными с ошибками персонала. Такие взаимозависимости могут возникать вследствие использования общих сигналов или процедурных моментов, когнитивной связи, обусловленной структурой или содержанием станционных регламентов, факторов, определяющих диагностику и планирование ответных действий либо сходства условий, в которых принимаются ответные меры. Зависимости между событиями, связанными с ошибками персонала, в одной и той же последовательности, если таковые имеются, могут значительно увеличить вероятность ошибок персонала. Взаимозависимости между событиями, связанными с ошибками персонала, следует идентифицировать и количественно оценивать в анализе.

5.121. Следует определить все минимальные сечения или сценарии, включающие несколько событий, связанных с ошибками персонала²⁴. Для определения степени зависимости между ними следует проанализировать спектр событий, связанных с ошибками персонала, которые объединены в одно и то же минимальное сечение или сценарий; эту степень зависимости должны отражать вероятности ошибок персонала, используемые при количественной оценке модели.

²⁴ Это может быть сделано путем присвоения вероятности ошибки персонала высокого значения (например, 0,9) и пересчета частоты повреждения активной зоны; после этого минимальные сечения, включающие несколько событий, связанных с ошибками персонала, появятся в верхней части списка минимальных сечений.

Интегрирование событий, связанных с ошибками персонала, в модель ВАБ

5.122. События, связанные с ошибками персонала, следует включить в логическую модель в качестве базисных событий. В зависимости от определения и влияния события, связанного с ошибкой персонала, соответствующее базисное событие может фигурировать на соответствующем уровне в дереве отказов или представлять собой заголовок дерева событий. События, связанные с ошибками персонала при восстановлении, также могут быть учтены на этапе после количественной оценки. На этапе интегрирования следует провести тщательное изучение минимальных сечений, чтобы убедиться, что события, связанные с ошибками персонала, были учтены правильно. Эта проверка должна включать в себя выявление комбинаций событий, связанных с ошибками персонала, которые могут нуждаться в оценке зависимости (см. пункты 5.120 и 5.121).

ПРОЧИЕ ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Пассивные системы

5.123. В ВАБ следует учитывать оценку функциональной надежности пассивных систем для удовлетворительного выполнения ими функций безопасности (т.е. оценку вероятности их отказа). Пункты 5.124–5.129 относятся к пассивным системам, включающим движущиеся жидкости или расширяющиеся твердые конструкции, устройства прямого действия и источники аккумулированной энергии (т.е. пассивные системы категорий В, С и D, как определено в [19]). Демонстрация функциональности (включая надежность и готовность) пассивных систем, как правило, предполагает использование одного или нескольких методов, таких как теплогидравлические расчеты, валидация, экспертное заключение, испытания и мониторинг работоспособности.

5.124. При оценке надежности пассивных систем следует учитывать специфические характеристики пассивности, которые могут существенно отличаться от характеристик активно работающих систем и элементов. Концепции активной и пассивной безопасности отличаются друг от друга тем, зависит ли работа обеспечивающих их КСЭ от внешнего механического и/или электрического привода, сигналов или сил. В пассивной системе отсутствие зависимости от внешних источников означает, что вместо этого ее функционирование зависит от законов природы, свойств материалов,

внутреннего запаса энергии или мощности и условий окружающей среды. Потенциальные причины отказа активных систем, такие как бездействие человека или обесточивание, могут быть устранены средствами пассивной безопасности. Необходимо понимать не только отдельные процессы, которые происходят, но и то, как они могут сочетаться друг с другом. Эти процессы и их комбинации, которые определяют фактическую производительность системы, могут варьироваться в зависимости от изменений состояния, граничных условий и отказа или неисправной работы компонентов внутри системы.

5.125. Поскольку пассивные системы безопасности (особенно теплогидравлические системы), как правило, нуждаются в менее мощной движущей силе, чем системы активной безопасности, они более чувствительны к условиям окружающей среды и граничным условиям. Поэтому оценка надежности пассивных систем должна охватывать механизмы отказа и события, потенциально затрагивающие экологические и другие граничные условия, такие как условия, которые влияют на природные явления для эффективного смягчения последствий аварий, а также механической или структурной деградации (включая эффекты старения), характерных только для пассивных систем. Например, естественная циркуляция может быть нарушена или заблокирована из-за газов, которые не конденсируются, засорения, неправильного расположения клапанов, наличия примесей, коррозии, образования водорослей в резервуарах, ошибок технического обслуживания или присутствия в системе посторонних предметов. Потенциальные дефекты компонентов пассивной системы (например, нежелательный наклон труб из-за ошибок при строительстве) также могут ухудшить эксплуатационные характеристики некоторых пассивных систем из-за малой величины действующих сил.

5.126. При оценке надежности пассивных систем следует также учитывать практику периодических испытаний и технического обслуживания или регламентные работы, поскольку такая практика или работы могут оказать существенное влияние на надежность пассивных систем. Например, данные о результатах периодических испытаний и технического обслуживания, если они имеются, могут указывать на деградацию материала вследствие старения или на необходимость корректировки стратегий испытаний или технического обслуживания.

5.127. Общий подход к оценке надежности пассивных систем и компонентов должен быть аналогичен подходу к другим системам, рассматриваемым в ВАБ. Особое внимание следует уделить обеспечению

того, чтобы виды системных отказов, относящиеся к ВАБ, были правильно определены, а связанные с ними вероятности отказов — оценены с приведением соответствующего обоснования. Таким образом, для оценки надежности пассивной системы, возможно, потребуется разработать подход, основанный на модели (см. [20]), и/или использовать другие методы, такие как испытания и экспертное заключение.

5.128. В оценку надежности пассивной системы следует включить следующие этапы:

- a) характеристика системы для определения назначения системы, связанных с ней аварийных сценариев, видов отказа и критериев успеха или отказа;
- b) идентификация механизмов отказа системы;
- c) системное моделирование, позволяющее учитывать поведение системы в различных условиях;
- d) идентификация соответствующих параметров и источников неопределенностей в модели системы и входных данных;
- e) количественная оценка неопределенностей (с использованием доступных методов для учета неопределенностей гносеологического и стохастического характера) для получения оценки надежности системы.

5.129. Отказ по общей причине является одним из наиболее важных видов отказа пассивных систем, который также следует учитывать. Как правило, для пассивных систем категорий С и D отказ по общей причине движущихся частей или компонентов систем контроля и управления оценивается при помощи стандартной методики для аналогичных компонентов в резервированных каналах. Однако для пассивных систем категории В причины системного сбоя могут быть одинаковыми для всех каналов системы. Если зависимый отказ резервированных каналов может иметь такую же или почти такую же вероятность, как и отказ любого единичного канала, это следует отразить в модели пассивной системы.

Системы, основанные на программном обеспечении

5.130. В ВАБ следует включить оценку надежности систем, основанных на программном обеспечении, которые учитываются как КСЭ, отвечающие за функции безопасности, или которые могут вызывать исходные события.

В этом контексте предполагается, что системы, основанные на программном обеспечении, включают в себя различное контрольно-измерительное и управляющее оборудование с программируемыми модулями.

5.131. Для определения объема и методики оценки надежности систем, основанных на программном обеспечении, следует использовать дифференцированный подход, основанный на значимости рисков с точки зрения ВАБ. Например, ожидается, что компьютерная система, используемая для управления системой защиты реактора, системами управления реактором или другими системами, значимыми с точки зрения риска, потребует более детального анализа, чем программируемые компоненты систем контроля и управления, менее значимых с точки зрения риска. Для моделирования могут быть применены упрощенные подходы к оценке надежности систем, основанных на программном обеспечении, с учетом архитектуры и классификации систем по безопасности.

5.132. При оценке надежности систем интерфейса оператора следует учитывать зависимости отказов других систем контроля и управления с помощью обычного моделирования дерева отказов и дерева событий в рамках ВАБ, в котором отказы систем, учтенных ранее в данной аварийной последовательности, выстраиваются в виде обычного каскада. Следует учитывать взаимозависимости между различными системами контроля и управления оператора и соотносимой системой интерфейса оператора. Для тех программируемых систем интерфейса оператора, которые моделируются упрощенным способом, следует предоставить обоснование ограничений при анализе.

5.133. Оценка надежности систем, основанных на программном обеспечении, должна охватывать как аппаратные, так и программные средства, а также данные о конфигурации программируемых логических устройств этих систем. Моделирование надежности систем, основанных на программном обеспечении, более затруднительно, поскольку стандартные статистические подходы имеют ограниченную применимость для программных модулей.

5.134. Как и при любом системном анализе, первой задачей в ходе оценки надежности цифровой системы должно быть определение сферы применения этой системы и ее задач, связанных с ВАБ. Здесь также следует обратить внимание на задачи системы, которые при ложном срабатывании могут оказать неблагоприятное воздействие на функцию безопасности и вызвать исходные события, которые также необходимо учитывать. Кроме

того, следует проанализировать взаимодействие между системами контроля и управления, чтобы определить системные зависимости применительно к рассматриваемым задачам.

5.135. Анализ компьютерной системы следует сделать достаточно подробным, чтобы охватить функционально значимые виды отказа системы, а также зависимости между системами. Следует учитывать оба вида отказа: «отказ на срабатывание определенной функции системы контроля и управления» и «ложное срабатывание». Необходимый уровень детальности зависит от архитектуры средств контроля и управления, а также от отказоустойчивости системы; возможно, потребуется провести подробный функциональный анализ отказов (включая отказы по общим причинам), который поможет принять решение о необходимом уровне детальности. При использовании более упрощенных моделей они должны включать как минимум основные виды отказа, выявленные в результате анализа отказов, использованного при разработке системы (см. [21]).

5.136. При анализе программируемых компонентов (например, процессоров, коммуникационных модулей, датчиков, исполнительных механизмов) следует вначале рассмотреть одновременно и аппаратные, и программные части компонентов (например, модулей, субкомпонентов), а затем провести дальнейший анализ этого аппаратного и программного обеспечения по отдельности, если это необходимо и целесообразно и если для этого имеются соответствующие данные. В оценку надежности программируемых компонентов следует включить обоснование выбранного уровня детальности при анализе компонентов. В [21] приведен пример таксономии видов отказа для цифровых систем контроля и управления.

5.137. Надежность аппаратных модулей следует оценивать при помощи стандартных методов при условии, что эти методы позволяют смоделировать поведение системы, выявленные виды отказа и зависимости.

5.138. В оценку надежности программных модулей следует включить оценку существующего опыта эксплуатации (в том числе на других атомных электростанциях или в других отраслях промышленности) и оценку процессов разработки (включая процесс валидации и верификации), чтобы получить как можно более достоверную оценку надежности.

Оценка надежности программных модулей по-прежнему представляет собой сложную задачу, и общепризнанной промышленной практики в этой области пока не существует²⁵. Дополнительную информацию см. в [22].

5.139. Порядок восстановительных действий, предпринимаемых в случае потери автоматических функций (включая программируемые системные функции), следует согласовывать с моделями событий, связанных с ошибками персонала, для проекта блочного пункта управления, минимальным количеством аварийных сигналов и набором средств управления. Если восстановительные действия учитываются как компенсирующие потери автоматических функций (например, функций цифровой системы), следует принимать во внимание возможные зависимости, связанные с выходом из строя контрольно-измерительных приборов.

5.140. В оценку надежности программируемых систем, включая сети связи, следует включить оценку межсистемных отказов по общим причинам. Следует обратить внимание на компьютерные системы, выполняющие те же или аналогичные функции. Если выявлены достоверные зависимости в аппаратном и программном обеспечении двух компьютерных систем, их следует учесть в ВАБ уровня 1.

5.141. Следует идентифицировать и учесть неопределенности в моделировании цифровых систем и данных, по крайней мере на качественном уровне. Следует также учесть неопределенности в данных.

5.142. В пункте 2.76 публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-39, «Проектирование систем контроля и управления для атомных электростанций» [23] говорится: «При проектировании СКУ следует учитывать выводы, полученные в результате вероятностной оценки безопасности». Заключение о надежности систем контроля и управления должно быть обоснованным и базироваться на международно признанных подходах. Допущения следует документировать и обосновывать. Практика

²⁵ Применимость метода оценки варьируется в зависимости от типа программного модуля (например, операционной системы, прикладного программного обеспечения) и рассматриваемого вида отказа, но на практике все методы имеют свои ограничения с точки зрения получения обоснованного показателя надежности, как это в идеале ожидается в ВАБ. Отмечается значительная неопределенность в идентификации видов отказа и моделировании динамических взаимодействий и данных (см. [22]). Это необходимо учитывать при использовании ВАБ в риск-ориентированных применениях.

в этой области в разных государствах неодинакова. В одних государствах существуют требования о проведении количественных оценок вероятности ошибок в системах контроля и управления, вызванных отказом аппаратных и программных средств. В других государствах ошибки проектирования (включая ошибки программного обеспечения) и их последствия адекватно оцениваются только путем качественного анализа архитектуры и проекта. Некоторые государства, где применяется численная оценка надежности программного обеспечения, установили предельные численные значения для заключений о надежности программного обеспечения.

ДАННЫЕ ДЛЯ ВАБ УРОВНЯ 1

5.143. Требование 19 GSR Part 4 (Rev. 1) [3] гласит: **«Должен производиться сбор и анализ данных по показателям эксплуатационной безопасности».**

5.144. Если опыт эксплуатации станции ограничен или отсутствует, то один из основных вопросов, который необходимо решить, заключается в том, применимы ли имеющиеся данные к конструкции оборудования и режиму эксплуатации рассматриваемой станции.

5.145. По возможности следует использовать данные по конкретной станции, дополненные данными по однотипным станциям, если можно доказать их применимость, что позволит оперировать более широким спектром данных. Однако данных по конкретной станции иметься не будет в том случае, если речь идет о ВАБ на этапе проектирования, новых станциях или станциях, введенных в эксплуатацию относительно недавно. В таких случаях следует использовать данные по однотипным станциям, а если они отсутствуют, то обобщенные данные об эксплуатации атомных электростанций всех типов.

5.146. Для данных, используемых в ВАБ уровня 1, следует предусматривать соответствующее обоснование. При подготовке такого обоснования положительной практикой считается сравнение данных из различных источников и определение того, может ли быть дано объяснение имеющимся расхождениям. В целом, при выборе наилучшего источника данных потребуются вынести соответствующее заключение.

5.147. Если предполагается использование комбинации данных по конкретной станции и обобщенных данных из различных источников, то следует обосновать используемые методы выбора конкретных данных или объединения данных из более чем одного источника. Это может быть сделано с использованием байесовского подхода или инженерной оценки.

5.148. Для параметров, используемых в ВАБ уровня 1, следует получить не только точечную оценку, но и полное распределение неопределенностей, поскольку это необходимо для анализа неопределенности.

Частота возникновения исходных событий

5.149. Каждому исходному событию или каждой группе исходных событий, моделируемых в ВАБ уровня 1, следует присвоить определенную частоту. Частота для группы исходных событий представляет собой сумму всех частот всех отдельных исходных событий, составляющих данную группу. Частоту следует выражать в количестве случаев за реакторо-год, чтобы частоты отражали долю времени, в течение которого атомная электростанция находится в применимом эксплуатационном состоянии.

5.150. Помимо методов, упомянутых в пунктах 5.143–5.148, еще одним способом оценки частот исходных событий является использование дерева отказов, представляющего собой логическую модель всех отказов оборудования и ошибок персонала, которые в сочетании друг с другом могут вызвать исходное событие. Следует проверить соответствие прогнозов, полученных с помощью дерева отказов, опыту эксплуатации. Если результаты, полученные в результате анализа дерева отказов, не соотносятся с опытом эксплуатации, их следует пересмотреть в свете предполагаемого применения ВАБ уровня 1.

5.151. Частоты, присвоенные часто происходящим исходным событиям, должны соответствовать опыту эксплуатации рассматриваемой станции и, в соответствующих случаях, опыту эксплуатации однотипных станций.

5.152. В документацию ВАБ уровня 1 следует включать описание каждого исходного события или группы исходных событий, идентифицированных для станции, вместе со средним значением частоты исходного события, обоснованием присвоенного численного значения и указанием уровня неопределенности.

Вероятности отказов компонентов

5.153. Каждому компоненту или типу компонентов, включенных в анализ, следует присваивать значения вероятности отказов. Определение вероятностей отказов должно соответствовать типу компонента, режиму его эксплуатации, порядку наблюдения за ним (т.е. периодическим испытаниям), границам, определенным для компонента в модели ВАБ уровня 1, а также видам его отказа.

5.154. Численные значения вероятностей отказов компонентов, используемых при количественной оценке в рамках ВАБ уровня 1, следует обосновывать.

5.155. Для таких компонентов, как насосы, которые должны работать в течение некоторого времени, следует уточнять время срабатывания. Время срабатывания компонента следует устанавливать исходя из времени срабатывания системы, определенного в анализе аварийной последовательности (см. пункт 5.53).

5.156. В документации ВАБ уровня 1 следует приводить все данные по отказам компонентов, использованные при количественной оценке в рамках ВАБ уровня 1. В документацию следует включать описание границ компонента, видов отказа, средней вероятности отказов, неопределенностей, связанных с данными, использованных источников данных, а также обоснование использованных численных значений.

Частота и продолжительность простоев компонентов

5.157. При проведении количественной оценки в рамках ВАБ уровня 1 следует учитывать неготовность систем и компонентов по причине их испытаний, технического обслуживания или ремонта. Численные значения, используемые для выражения частот и длительностей простоев компонентов, должны реалистично отражать практику, которая существует или запланирована для применения на данной станции.

5.158. Определение частот и длительностей простоев следует по возможности базировать на данных по конкретной станции, получаемых на основе анализа учетной документации по техническому обслуживанию станции и данных о неготовности компонентов или технических характеристиках станции, дополненных данными по однотипным станциям.

Если это невозможно, то могут использоваться обобщенные данные или данные производителей, если может быть доказано, что такие данные отражают практику эксплуатации станции.

5.159. В документации ВАБ уровня 1 следует приводить данные о неготовности систем и элементов к эксплуатации и обоснование использованных численных значений.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА В РАМКАХ АНАЛИЗА

5.160. Логическую модель, разработанную в рамках ВАБ уровня 1, следует подвергнуть количественной оценке при помощи данных, указанных в пунктах 5.143–5.159. Затем следует рассчитать частоты аварийных последовательностей с использованием данных о частотах исходных событий, вероятностях отказов компонентов, частоте и продолжительности простоев компонентов, вероятностях отказов по общей причине и вероятностях ошибок персонала.

5.161. Для подхода с использованием комбинации малых деревьев событий и больших деревьев отказов (метод взаимосвязанных деревьев отказов, см. пункты 5.4 и 5.5), необходимо провести булеву редукцию логических моделей, построенных при помощи деревьев событий и деревьев отказов для каждой группы исходных событий. Ввиду взаимозависимости систем при интегрировании деревьев отказов могут образоваться логические петли, часто между обеспечивающими системами, такими как системы технической воды, пневмосистемы и системы электропитания. Перед количественной оценкой в рамках ВАБ уровня 1 следует убедиться, что в модели отсутствуют логические петли. Если такие петли существуют, необходимым условием количественной оценки является их разрыв. В документации ВАБ уровня 1 следует подробно описать, каким образом был осуществлен разрыв логических петель в модели.

5.162. В соответствии с требованием 18 GSR Part 4 (Rev. 1) [3] все компьютерные коды, используемые для количественной оценки в рамках ВАБ уровня 1, должны пройти верификацию и валидацию. Ряд сложных компьютерных кодов ВАБ уровня 1, которые могут быть использованы для проведения этого анализа, имеются на рынке или были разработаны в различных государствах-членах.

5.163. Аналитикам, использующим эти коды, следует обладать соответствующим опытом и знаниями о назначении и ограничениях кода.

5.164. В общие результаты количественной оценки модели ВАБ уровня 1 следует включать:

- a) частоту повреждения активной зоны (точечные оценки и границы неопределенностей или распределения вероятностей);
- b) вклад каждой группы исходных событий в частоту повреждения активной зоны;
- c) минимальные сечения и частоты минимальных сечений (для метода взаимосвязанных деревьев отказов) или сценарии и частоты сценариев (для метода, использующего деревья событий с граничными условиями);
- d) результаты исследований чувствительности и анализа неопределенности;
- e) критерии значимости (например, цену возрастания риска, цену уменьшения риска, критерии значимости базисных событий по Fussell-Vesely и Birnbaum), которые используются для интерпретации ВАБ уровня 1;
- f) частоты состояний повреждения станции (если они определены), которые обеспечивают интерфейс между ВАБ уровня 1 и ВАБ уровня 2.

5.165. Аналитикам следует удостоверяться в том, что аварийные последовательности или минимальные сечения, идентифицированные при построении модели ВАБ уровня 1, действительно ведут к повреждению активной зоны в соответствии с допущениями, сделанными в процессе выполнения ВАБ. Данную проверку следует выполнять на выборке последовательностей. Кроме того, следует удостоверяться в том, что минимальные сечения, представляющие комбинации исходных событий и отказов компонентов, которые предположительно ведут к повреждению активной зоны, действительно включены в полученный список минимальных сечений.

5.166. Аналитику следует дать определение понятия «значительный вклад в риск», используемого в пункте 5.17. Оно может принимать форму абсолютного критерия или относительного критерия (например, по отношению к суммарной частоте повреждения активной зоны).

5.167. Следует удостоверяться в том, что любая последующая обработка минимальных сечений, выполненная для удаления взаимоисключающих событий или для введения восстановительных действий, прямо не включенных в модель ВАБ уровня 1, действительно дает правильные результаты. Последующая обработка обычно применяется при использовании метода взаимосвязанных деревьев отказов.

5.168. В документации ВАБ уровня 1 следует приводить результаты количественной оценки в рамках ВАБ уровня 1, а также описания наиболее значимых последовательностей и минимальных сечений и любой выполненной последующей обработки.

5.169. Аналитику следует дать определения понятий «значимая последовательность» и «значимое минимальное сечение», используемых в пункте 5.168. Они могут принимать форму абсолютных критериев или относительных критериев (например, по отношению к суммарной частоте повреждения активной зоны).

5.170. При количественной оценке в рамках ВАБ уровня 1 потребуется задавать отсечки с целью ограничения времени, затрачиваемого на анализ. Обычно принято задавать отсечки частоты, чтобы не включать в анализ минимальные сечения с более низкой частотой. Можно также задавать отсечку порядка величин, чтобы не включать в анализ минимальные сечения с порядком выше заданного уровня. Следует предоставить объяснение, что отсечка была задана на достаточно низком уровне для того, чтобы общие результаты ВАБ уровня 1 сошлись и чтобы эта отсечка не приводила к значительному занижению оценки частоты повреждения активной зоны. Выбор отсечки может варьироваться в зависимости от формы применения ВАБ.

АНАЛИЗ ЗНАЧИМОСТИ, ИССЛЕДОВАНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ

Анализ значимости

5.171. Для интерпретации результатов ВАБ следует рассчитывать и применять критерии значимости базисных событий, групп базисных событий, учитываемых систем и групп исходных событий. К критериям значимости, используемым в ВАБ уровня 1, обычно относятся:

- a) значимость по Fussell-Vesely²⁶;
- b) цена уменьшения риска²⁷;
- c) цена возрастания риска²⁸;
- d) значимость по Birnbaum²⁹.

Различные критерии значимости дают представление о том, какие базисные события вносят наибольший вклад в текущую оценку риска (значимость по Fussell-Vesely, цена уменьшения риска), какие вносят наибольший вклад в поддержание уровня безопасности (цена возрастания риска) и к каким базисным событиям результаты наиболее чувствительны (значимость по Birnbaum). Показатели значимости следует использовать для определения того, какие КСЭ и действия эксплуатационного персонала вносят значительный вклад в риск и должны внимательно учитываться на этапе проектирования или эксплуатации станции. Показатели значимости следует

²⁶ Для конкретного базисного события показатель значимости по Fussell-Vesely представляет собой доленой вклад в общую частоту повреждения активной зоны всех аварийных последовательностей, содержащих оцениваемое базисное событие.

²⁷ Цена уменьшения риска — это относительное снижение частоты повреждения активной зоны, если вероятность базисного события принимается равной нулю. Цена уменьшения риска находится в прямой зависимости от вероятности базисного события и может использоваться для оценки вклада базисного события в частоту повреждения активной зоны.

²⁸ Цена возрастания риска — это относительное увеличение частоты повреждения активной зоны, если о вероятности базисного события можно вынести уверенное суждение. Цена возрастания риска является критерием значимости функции, представленной базисным событием. Она определяет базисные события, играющие важную роль с точки зрения безопасности, даже если частота отказов, вызываемых этими базисными событиями, крайне мала.

²⁹ Критерий значимости по Birnbaum — это показатель возрастания риска при отказе компонента по сравнению с ситуацией, когда компонент исправно функционирует.

использовать для определения тех элементов проекта или эксплуатации станции, для которых необходимо рассмотреть возможность внесения усовершенствований [9, 13].

Типы неопределенностей

5.172. Требование 17 GSR Part 4 (Rev. 1) [3] гласит: «**Должен проводиться анализ неопределенностей и чувствительности, и он должен быть отражен в результатах анализа безопасности и выводах, которые делаются на его основе**». Следует признать наличие неопределенностей в моделях, разрабатываемых для ВАБ уровня 1, и используемых в нем данных. Эти неопределенности следует учитывать при использовании результатов ВАБ для формулирования заключений о риске или для обоснования решений. В зависимости от обстоятельств это может быть сделано путем проведения исследований чувствительности или анализа неопределенностей. Неопределенности в ВАБ уровня 1, как правило, делятся на три общие категории, описанные ниже.

- 1) Неопределенность, вызванная неполнотой. Общей целью ВАБ уровня 1 является проведение методичного анализа для выявления всех аварийных последовательностей, которые вносят вклад в частоту повреждения активной зоны. Однако нет никакой гарантии того, что данный процесс будет полным и что будут выявлены и должным образом оценены все возможные сценарии. Такая потенциальная неполнота привносит в результаты и выводы анализа неопределенность, которую трудно оценить или выразить количественно. Устранение такого рода неопределенности в явном виде невозможно.
- 2) Неопределенность моделирования. Она возникает вследствие неполноты знаний о пригодности 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 количественной оценке в рамках ВАБ уровня 1. Этот тип неопределенности обычно учитывается в рамках анализа неопределенности путем установления распределений неопределенностей для всех параметров и их экстраполяции на весь анализ.

5.173. Необходимо рассмотреть вопрос о том, как использовать информацию о неопределенности в оценке проекта и в процессе принятия решений, учитывая, что вероятностные цели безопасности и критерии частоты повреждения активной зоны чаще относятся к точечным оценкам³⁰, чем к распределению неопределенностей. То, как ВАБ уровня 1 используется для выявления слабых мест, также в большей степени относится к точечным оценкам, чем к распределению неопределенностей.

Исследования чувствительности

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

5.175. Исследования чувствительности следует проводить в отношении допущений и данных, имеющих значительный уровень неопределенности и способных оказать существенное влияние на результаты ВАБ уровня 1. Исследования чувствительности следует проводить путем повторной количественной оценки результатов анализа с использованием альтернативных допущений либо путем использования диапазона численных значений для данных, отражающего уровень неопределенности.

5.176. Аналитику следует дать определение понятия «существенное влияние на результаты ВАБ уровня 1», используемого в пункте 5.175. Оно может принимать форму численного критерия в абсолютном или относительном выражении (см. пункт 5.166), качественного критерия или сочетания количественных и качественных критериев.

5.177. Результаты исследований чувствительности следует использовать для указания на то, в какой степени можно довериться заключениям, сделанным на основе ВАБ (т.е. соблюдается ли критерий или целевой показатель повреждения активной зоны, сбалансирован ли проект и имеются ли в проекте и эксплуатации станции слабые места, которые не были выявлены в ВАБ уровня 1 для базисного сценария, с которым сравниваются сценарии чувствительности).

³⁰ В данном контексте под точечной оценкой понимается либо та, которая рассчитывается с помощью компьютерного кода ВАБ, либо иной параметр или квантиль распределения вероятностей, такой как среднее значение или медиана.

5.178. Следует отметить, что обычно исследования чувствительности проводятся одновременно в отношении одного допущения или одного параметра и что результаты исследований чувствительности не имеют статистической значимости. Также может быть проведен анализ чувствительности соответствующих комбинаций допущений.

Анализ неопределенностей

5.179. Следует проводить анализ неопределенностей для установления неопределенности в результатах ВАБ уровня 1, обусловленной данными, использованными при количественной оценке в рамках ВАБ уровня 1.

5.180. В рамках анализа данных следует задавать распределение неопределенности для параметров, используемых при количественной оценке модели ВАБ уровня 1. Эти распределения неопределенности следует экстраполировать на весь анализ для выявления неопределенностей в частоте повреждения активной зоны. Эти неопределенности следует использовать для указания на то, в какой степени можно довериться любому заключению или результату, полученному на основе ВАБ уровня 1.

5.181. При выполнении анализа неопределенностей следует учитывать взаимосвязь интенсивностей отказа с целью определения корреляции данных, полученных из одного и того же источника. Это может быть сделано при помощи выборки параметров.

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

ВВЕДЕНИЕ

6.1. Помимо случайных отказов компонентов и ошибок персонала (см. раздел 5), способных приводить к внутренним исходным событиям, причиной аварийных последовательностей могут стать повреждения, возникшие в результате воздействия других опасностей. В настоящем

разделе приводятся рекомендации по выполнению требований 6–13 GSR Part 4 (Rev. 1) [3] для ВАБ уровня 1 применительно к другим опасностям, которые могут быть классифицированы следующим образом.

- a) Внутренние опасности. Это опасности, возникающие в пределах площадки и связанные с неполадками на установках и сбоями в деятельности, находящимися под контролем эксплуатирующей организации. Опасности, исходящие от разных объектов, совместно расположенных на одной площадке, или возникающие на них, также считаются внутренними опасностями. Примерами внутренних опасностей являются внутренние пожары, внутренние затопления, внутренние взрывы, возникновение летящих предметов (например, обломков турбин), падение тяжелых грузов, дорожно-транспортные происшествия на площадке и выбросы опасных веществ из источников на площадке.
- b) Внешние опасности. Это опасности, в том числе природные и антропогенные явления, которые возникают за пределами площадки атомной электростанции и не связаны с деятельностью, подконтрольной эксплуатирующей организации, и которые, следовательно, эксплуатирующая организация может контролировать лишь в малой степени или не в состоянии контролировать вовсе. Примерами внешних природных опасностей являются сейсмические опасности, внешние наводнения, сильные ветры и другие суровые погодные условия; примерами антропогенных опасностей являются авиакатастрофы, взрывные (ударные) волны, дорожно-транспортные происшествия вне площадки и выбросы опасных веществ из источников за пределами площадки.

6.2. Опасности, которые также могут быть комбинированными, могут приводить к повреждению КСЭ станции и тем самым создавать аварийные последовательности, способные приводить к повреждению активной зоны и/или топлива (или к другим нежелательным конечным состояниям, в зависимости от обстоятельств, если таковые учитываются в ВАБ уровня 1). Часто опасности могут потенциально воздействовать на множество КСЭ

одновременно и негативно влиять на персонал станции. В ВАБ уровня 1 следует включать как внутренние, так и внешние опасности (а также их сочетания)³¹.

6.3. Под комбинированными опасностями могут пониматься сочетания двух или более внешних опасностей, сочетания внешних и внутренних опасностей либо сочетания двух или более внутренних опасностей. Детальное описание рассматриваемых типов сочетаний можно найти в SSG-64 [6]. Сочетания опасностей могут оказать намного более серьезное воздействие на безопасность станции, чем каждая из опасностей, рассматриваемая по отдельности, при этом частота возникновения комбинированных опасностей может быть сопоставима с частотой возникновения отдельных опасностей (например, сильный шторм может одновременно привести к обильным осадкам и к разрушению плотины, что приведет к повышению уровня воды на станции).

ПРОЦЕСС АНАЛИЗА

6.4. К идентификации внутренних и внешних опасностей и анализу их вклада в частоту повреждения активной зоны и/или топлива 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 единичных и комбинированных;
- 3) скрининговый анализ опасности, как количественный, так и качественный;
- 4) граничную оценку;
- 5) детальный анализ.

Общий подход к анализу наглядно показан на рис. 2.

³¹ В настоящем Руководстве по безопасности не содержится рекомендаций, касающихся событий, происходящих вследствие военных действий, актов саботажа (диверсии) или терроризма. Тем не менее в нем учитываются случайные опасности, связанные с военными объектами или деятельностью в мирное время (например, падение военного самолета).

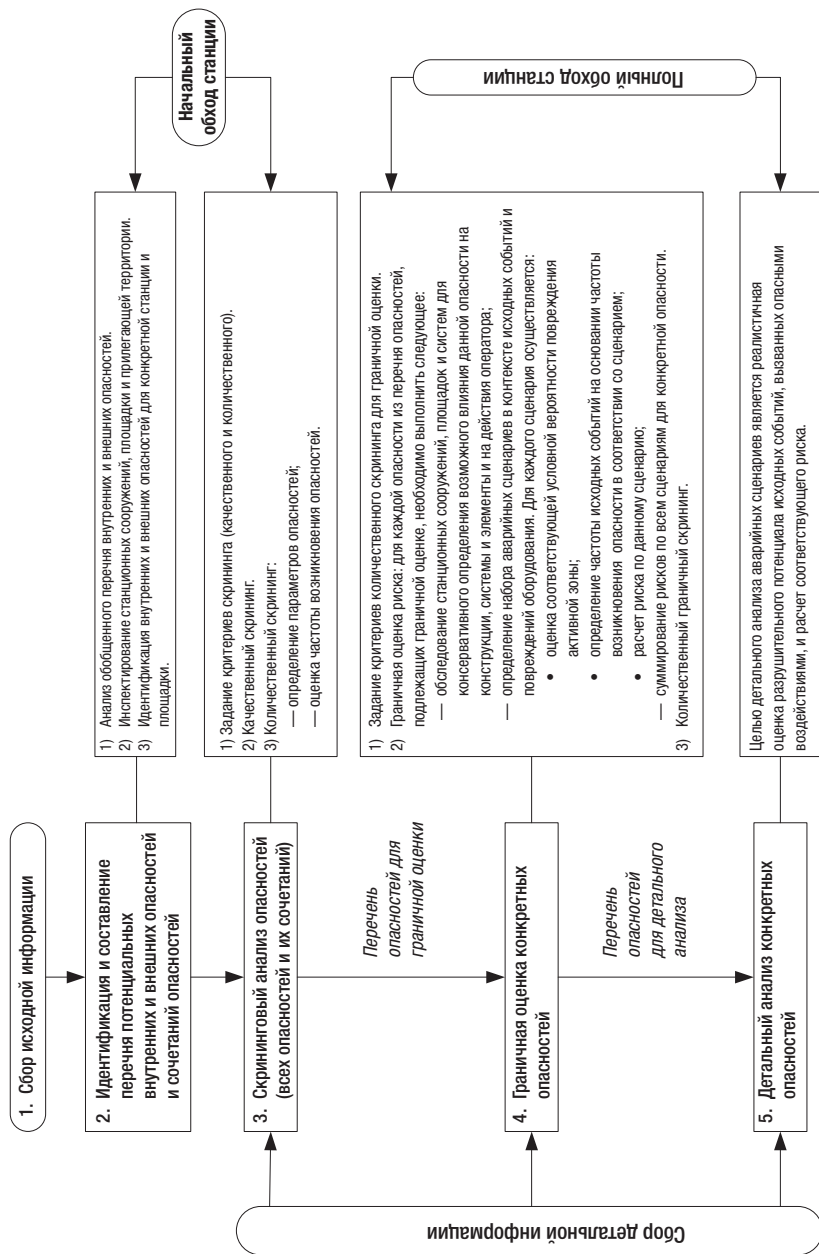


Рис. 2. Общий подход к анализу внутренних и внешних опасностей в ВАБ уровня 1.

6.5. Хотя этапы идентификации и скрининга опасностей для внутренних и внешних опасностей одинаковы, граничная оценка и детальный анализ каждой опасности могут требовать решения задач, уникальных для рассматриваемой опасности (например, для случаев внутреннего пожара будет необходимо анализировать распространение пожара). В настоящем разделе рассматриваются задачи идентификации и скрининга опасностей, имеющие схожие черты для внутренних и внешних опасностей; конкретные рекомендации по граничной оценке и детальному анализу конкретных видов опасностей приведены в разделе 7 (внутренние опасности) и разделе 8 (внешние опасности).

6.6. Все потенциальные внутренние и внешние опасности, способные негативно воздействовать на работу станции, следует учитывать и по мере необходимости подвергать скрининговому анализу, граничной оценке или детальному анализу (см. публикацию Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSR-1, «Оценка площадок для ядерных установок» [24]).

СБОР ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ

6.7. В начальной точке ВАБ уровня 1 для внутренних и внешних опасностей следует собрать всю доступную информацию, относящуюся конкретно к внутренним и внешним опасностям. В данную информацию следует включать, как минимум:

- a) проектную информацию, касающуюся внутренних и внешних опасностей, рассмотренных в отчете по обоснованию безопасности;
- b) перечень и план расположения станционных зданий и КСЭ;
- c) данные об общей планировке станции, географическую и топографическую информацию о площадке и прилегающей территории;
- d) данные об условиях окружающей среды, таких как климатическая зона и метеорологические характеристики, а также данные подробных наблюдений за метеорологическими и гидрологическими процессами и природными явлениями в зоне расположения атомной электростанции в соответствии с национальной программой наблюдения за природными явлениями;
- e) текущую информацию о расположении трубопроводов, транспортных маршрутов (включая воздушные, железнодорожные, автомобильные и водные маршруты), складских помещений для хранения

опасных материалов (например, горючих, токсичных, удушающих, взрывоопасных, коррозионно-активных, радиоактивных веществ) на площадке и за ее пределами;

- f) текущую информацию о расположении промышленных и военных объектов в непосредственной близости от площадки;
- g) исторические сведения о возникновении всех внутренних и внешних опасностей на площадке и в данном регионе;
- h) данные детерминистического анализа риска возникновения опасностей (если такой анализ проводился).

6.8. В ходе выполнения ВАБ уровня 1 для внутренних и внешних опасностей эту исходную информацию следует актуализировать и дополнять в зависимости от необходимой степени детальности скринингового анализа, граничной оценки или детального анализа каждой опасности.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОПАСНОСТЕЙ

6.9. Целью идентификации опасностей является составление полного и прослеживаемого перечня потенциальных внутренних и внешних опасностей. Ниже приводятся примеры отдельных опасностей и групп опасностей.

- a) Внутренние опасности:
 - i) внутренние пожары;
 - ii) внутренние взрывы;
 - iii) внутренние летящие предметы;
 - iv) разрывы трубопроводов (в том числе биение трубы и ударное воздействие струи);
 - v) внутреннее затопление;
 - vi) падения тяжелых грузов;
 - vii) электромагнитные помехи на площадке;
 - viii) выброс опасных веществ на площадке;
 - ix) короткие замыкания через дугу на высоковольтных линиях;
 - x) дорожно-транспортные происшествия на площадке;
 - xi) образование статического электричества на площадке (вихревые токи большой силы);
 - xii) радиационные аварии, затрагивающие другие энергоблоки или радиоактивные источники, находящиеся на той же площадке.
- b) Внешние природные опасности:
 - i) сейсмические опасности;

- ii) гидрологические опасности, в том числе внешние наводнения³²;
 - iii) метеорологические опасности, в том числе экстремальные метеорологические условия³³ и сильные ветры³⁴;
 - iv) внеземные явления, такие как падение метеоритов и солнечные вспышки;
 - v) биологические явления³⁵;
 - vi) геологические явления;
 - vii) природные пожары.
- с) Внешние антропогенные опасности:
- i) авиакатастрофы (с участием военных или гражданских судов);
 - ii) взрывные (ударные) волны, возникающие за пределами площадки (на промышленных или военных объектах);
 - iii) дорожно-транспортные происшествия за пределами площадки (например, затрагивающие воздушный, железнодорожный, автомобильный, водный транспорт);
 - iv) аварии на территории промышленных хранилищ за пределами площадки;
 - v) аварийные выбросы опасных веществ за пределами площадки;
 - vi) электромагнитные помехи за пределами площадки;
 - vii) техногенные пожары за пределами площадки;
 - viii) прочие аварии на военных объектах;
 - ix) прочие аварии на промышленных объектах.

³² Термин «внешние наводнения» охватывает множество опасностей, таких как разрушение плотин, цунами, метеоцунами, наводнение на реках и штормовой нагон воды.

³³ Согласно публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-68, «Design of Nuclear Installations Against External Events Excluding Earthquakes» («Проектирование ядерных установок с учетом внешних событий, кроме землетрясений») [25], к экстремальным метеорологическим условиям относятся высокая температура и высокая влажность атмосферного воздуха, высокая температура воды, образование снежного покрова, переохлажденные осадки и заморозки, а также грозовые разряды. С этими опасностями могут быть связаны и другие, например образование внутриводного льда и град.

³⁴ Термин «сильные ветры» охватывает множество опасностей, таких как торнадо, ураганы, тайфуны, сильные нисходящие ветры и прямые ветры.

³⁵ К типичным примерам биологических явлений относится аномальное увеличение популяций рыб в пруду-охладителе и скопление водорослей, листьев деревьев или плавающих объектов (например, животных) в системе забора охлаждающей воды.

Соответствующие рекомендации приведены в SSG-64 [6]; SSG-89 [7]; в публикациях Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-79, «Hazards Associated with Human Induced External Events in Site Evaluation for Nuclear Installations» («Учет опасностей, связанных с внешними событиями антропогенного характера, при оценке площадок для ядерных установок») [26]; № SSG-9 (Rev. 1), «Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations» («Учет сейсмических опасностей при оценке площадок для ядерных установок») [27] и № SSG-18, «Учет метеорологических и гидрологических опасностей при оценке площадок для ядерных установок» [28]. Дополнительная информация представлена в [29].

6.10. В качестве отправной точки в перечень следует включить опасности, перечисленные в [30–32], и опасности, рассмотренные при проведении предыдущих ВАБ, а затем следует провести методичный анализ на предмет их применимости к данной площадке. В приложении I приведен пример типового перечня потенциальных внутренних и внешних опасностей.

6.11. К этому типовому перечню следует добавить дополнительные опасности, которые являются специфическими для конкретной площадки или станции, и затем этот перечень следует регулярно обновлять для учета всех опасностей такого рода. Идентификацию опасностей применительно к конкретной площадке и конкретной станции следует проводить на основе методичного и структурированного подхода с целью обеспечить полноту информации. Для существующих станций неотъемлемой частью процесса идентификации внутренних и внешних опасностей являются обследование площадки и обход станции/площадки.

6.12. Следует составить перечень потенциальных комбинированных опасностей, которые могут быть значимыми с точки зрения риска. В этой связи в SSG-64 [6] рекомендуется различать три типа комбинированных опасностей: логически вытекающие (последующие) события, коррелированные события и несвязанные (независимые) события.

6.13. Все три типа сочетаний опасностей следует включить в процесс идентификации и скринингового анализа комбинированных опасностей³⁶.

³⁶ В случае сочетаний логически вытекающих опасностей оценка последствий комбинированных опасностей может быть частью оценки одной из единичных опасностей, желательно главной из них.

6.14. В случае сочетания несвязанных опасностей следует учесть длительность действия отдельных единичных опасностей из рассматриваемого сочетания (например, сейсмической активности в течение длительного периода засухи, внутреннего пожара на станции в течение продолжительного периода внешнего наводнения).

6.15. Возможные сочетания опасностей следует идентифицировать на основе перечня отдельных внутренних и внешних опасностей, применимых к площадке. Перед проведением скринингового анализа для этой цели следует использовать полный перечень применимых опасностей³⁷.

6.16. Сочетания взаимоисключающих опасностей из рассмотрения следует исключить.

СКРИНИНГ ЕДИНИЧНЫХ ОПАСНОСТЕЙ И СОЧЕТАНИЙ ОПАСНОСТЕЙ

6.17. Как правило, скрининг организуется в виде последовательного процесса, с тем чтобы исключить из рассмотрения малозначимые с точки зрения риска внутренние и внешние единичные опасности и сочетания опасностей, идентифицированные согласно пунктам 6.14–6.16, и сосредоточить внимание 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 существенных факторов риска, связанного с любой внутренней или внешней единичной опасностью или сочетанием опасностей, относящимися к станции или площадке. Описание критериев и процесса скрининга следует включать в документацию ВАБ уровня 1 вместе с результатами процесса скрининга.

6.18. При использовании качественных критериев скрининга, как по отдельности, так и в сочетании друг с другом, для оценки единичных опасностей или сочетаний опасностей следует удостовериться в том, что:

³⁷ Как правило, сочетания одних внешних опасностей с другими включают только природные опасности (например, сочетание сильного ветра и высокого уровня воды в море). Тем не менее сочетания природных и антропогенных опасностей также возможны и не могут быть исключены априори (например, повышенный риск происшествий с судами в суровых погодных условиях).

- a) данная опасность не приведет напрямую к возникновению исходного события и увеличит существенным образом частоту повреждения активной зоны и/или топлива в течение заданного периода времени. Для внешних опасностей этот критерий обычно применяется в тех случаях, когда опасность не может возникнуть настолько близко к станции, чтобы оказать на нее негативное воздействие, либо когда не затрагиваются важные для безопасности компоненты. Выполнение данного критерия будет также зависеть от размера опасности;
- b) развитие опасности будет происходить медленно, и можно будет с уверенностью утверждать, что для устранения источника опасности или принятия надежных и адекватных ответных мер будет достаточно времени;
- c) опасность включена в определение другой опасности или сочетание опасностей включено в определение более серьезной опасности;
- d) сочетание опасностей не приведет к более тяжелым последствиям по сравнению с теми, к которым может привести самая серьезная опасность в данном сочетании.

6.19. Количественные критерии скрининга опасностей должны зависеть от общей цели ВАБ уровня 1 и коррелироваться с суммарной частотой повреждения активной зоны и/или топлива (выводимой, как правило, на основе результатов полномасштабного ВАБ). Дополнительную информацию см. в [30, 31]. Опасности, имеющие весьма низкую частоту возникновения, но потенциально тяжелые последствия в плане выбросов радиоактивного материала, следует учитывать для целей ВАБ уровня 2.

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

6.21. Следует уделить особое внимание анализу следующих групп опасностей, которые являются наиболее значимыми для многих площадок:

- a) сейсмические опасности;
- b) гидрологические опасности;
- c) метеорологические опасности;
- d) антропогенные опасности.

6.22. Для исключения конкретных опасностей следует доказать, что специфические условия места расположения станции (например, топографические, географические, метеорологические, биологические) подтверждают допущение о том, что интенсивность их воздействия недостаточна для причинения ущерба станции (например, ураганы в зонах, удаленных от побережья).

6.23. Внешние опасности с определенным разрушительным потенциалом следует отсеивать только в том случае, если может быть доказано, что частота превышения конкретных интенсивностей ничтожно мала.

6.24. Для каждой отдельной опасности в процессе скрининга следует определить и использовать приблизительную максимальную интенсивность воздействия исходя из пессимистических допущений о развитии ситуации после исходного события.

6.25. Частота возникновения опасностей часто задается для подкатегорий, которые определяются диапазонами значений интенсивности опасности. В некоторых случаях критерии скрининга не могут быть применены к опасности в целом, но могут быть применены к каждой отдельной подкатегории (например, пыльные бури с различной скоростью ветра и концентрацией пыли в воздухе). Это позволяет аналитикам избежать отсева опасностей, имеющих низкую частоту возникновения, но высокий разрушительный потенциал. При использовании данного подхода, однако, аналитикам следует гарантировать, что в результате разделения опасности на подкатегории не произойдет последующее исключение опасности в целом и не будет существенно недооценен связанный с ней риск.

6.26. Происходящие на станции исходные события могут быть результатом воздействия единичной опасности или сочетания 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 вклад в риск каждой из них, взятой по отдельности, будет ничтожно мал.

6.27. При применении критериев скрининга следует проводить периодическое рассмотрение текущего состояния станции и прилегающей территории с целью убедиться в том, что внесенные в первоначальные проектные условия изменения либо несущественны, либо учтены в ВАБ.

В частности, следует тщательно изучать те изменения, которые могут приводить к появлению новых опасностей или к увеличению частоты возникновения опасностей определенной интенсивности³⁸.

7. ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ВАБ УРОВНЯ 1 ДЛЯ ВНУТРЕННИХ ОПАСНОСТЕЙ

ВВЕДЕНИЕ

7.1. В настоящем разделе приводятся рекомендации по выполнению требований 6–13 GSR Part 4 (Rev. 1) [3] к проведению ВАБ уровня 1 для внутренних опасностей (перечень типичных внутренних опасностей см. в пункте 6.9). Даются конкретные рекомендации по проведению ВАБ уровня 1 в отношении определенных внутренних опасностей, возникающих на атомных электростанциях (таких как пожары, затопления, возникновение летящих обломков турбины). Прочие внутренние опасности в настоящем Руководстве по безопасности в явном виде не рассматриваются, но могут быть учтены при помощи аналогичных подходов.

³⁸ Для наглядности ниже приводятся примеры таких изменений:

- а) изменения на военных или промышленных объектах в радиусе 30 км от площадки или изменения на близлежащих транспортных маршрутах (например, железнодорожных, воздушных, автомобильных, речных), ведущие к изменению радиуса воздействия и интенсивности внешних опасностей антропогенного происхождения;
- б) изменения в конструкции речных плотин, расположенных выше по течению относительно площадки станции, ведущие к возрастанию разрушительного потенциала опасности внешнего наводнения;
- с) изменения условий окружающей среды (например, среднегодовой и максимальной годовой скорости ветра, уровня воды, температуры, количества местных осадков), которые могут привести к изменению частоты возникновения внешних опасностей природного происхождения с более высоким разрушительным потенциалом.

7.2. Внутренние опасности (см. пункты 6.1 (а) и 6.9) следует рассматривать в контексте граничной оценки и/или детального анализа. Для рассмотрения внутренних опасностей в рамках ВАБ уровня 1 следует применять последовательный подход. Как правило, он предполагает выполнение следующих задач:

- 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) выполнение ВАБ уровня 1 для внутренних опасностей на основе ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий:
 - i) определение исходных событий, возникающих вследствие внутренних опасностей;
 - ii) определение коррективов, которые необходимо внести в существующие деревья событий и деревья отказов в рамках ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий;
 - iii) анализ конкретных зависимостей и отказов по общей причине;
 - iv) анализ конкретных данных;
 - v) анализ конкретных аспектов надежности персонала;
- d) качественный и/или количественный скрининг;
- e) количественная оценка вклада внутренних опасностей в частоту повреждения активной зоны и/или топлива (например, анализ результатов, исследования чувствительности, анализ неопределенностей и значимости);
- f) документирование (с особым акцентом на использованных в процессе анализа допущениях и справочных документах, в том числе по вопросам обеспечения качества).

ГРАНИЧНАЯ ОЦЕНКА В РАМКАХ ВАБ УРОВНЯ 1 ДЛЯ ВНУТРЕННИХ ОПАСНОСТЕЙ

7.3. Большинство внутренних опасностей (например, пожары, взрывы, затопления) могут возникать в самых разнообразных местах площадки (внутри или снаружи зданий). Поэтому при определении характеристик опасности следует указывать:

- 1) общую границу анализа станции, чтобы можно было учесть все возможные места, способствующие риску возникновения опасности;

- 2) замкнутые пространства станции, с учетом средств защиты (таких как физическое разделение, ограждения, изолирующее оборудование), предусмотренных проектом станции для локализации повреждения в пределах той зоны, где оно возникло.

7.4. Граничная оценка выполняется с тем, чтобы сократить число внутренних опасностей (или сценариев внутренних опасностей), требующих детального анализа, и тем самым сосредоточить внимание на наиболее значимых с точки зрения риска аварийных сценариях. Граничную оценку следует выполнять таким образом, чтобы она давала гарантию того, что риск, связанный с определенной внутренней опасностью (или сценарием внутренней опасности), незначителен по сравнению с другими опасностями.

7.5. По завершении процесса скрининга следует при помощи ВАБ уровня 1 для внутренних опасностей определить вклад этих опасностей в частоту повреждения активной зоны и/или топлива. В основу ВАБ уровня 1 для внутренних опасностей следует положить модель реагирования станции, разработанную с целью выполнения ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий — как для режимов работы на номинальной мощности, так и для состояний останова. Наличие ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий является необходимым условием выполнения ВАБ уровня 1 для внутренних опасностей. В результате анализа опасностей могут быть идентифицированы новые исходные события в дополнение к тем, которые были выявлены при выполнении ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий (например, потеря всей информации на блочном пункте управления в результате пожара). В таких случаях следует разрабатывать и включать в ВАБ уровня 1 новые аварийные последовательности.

7.6. Для нужд упрощенной количественной оценки риска, связанного с конкретной внутренней опасностью, или для нужд скрининга частота повреждения активной зоны и/или топлива может быть оценена без детальной модели ВАБ уровня 1 для внутренних опасностей. В этом случае для расчета совокупного вклада конкретной внутренней опасности в частоту повреждения активной зоны и/или топлива используется общая формула (1):

$$f_{\text{hazard core/fuel damage}} = \sum f_{\text{hazard in plant area } i} \times \text{CCDP}_i, \quad (1)$$

где:

$f_{\text{hazard core/fuel damage}}$	— вклад конкретной внутренней опасности в зоне станции в частоту повреждения активной зоны и/или топлива;
$f_{\text{hazard in plant area } i}$	— частота возникновения конкретной внутренней опасности в зоне i станции;
$CCDP_i$	— условная вероятность повреждения активной зоны и/или топлива для зоны i станции, оцененная при помощи ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий и адаптированная с консервативными допущениями в соответствии с воздействием внутренней опасности в зоне i станции.

7.7. При анализе воздействия следует учитывать влияние вызванных опасным воздействием отказов компонентов на исходные события, включенные в ВАБ для внутренних опасностей, и на соответствующие функции безопасности. Для уменьшения излишнего консерватизма, ведущего к завышению оценки риска, создаваемого опасностью, следует проводить детальный анализ, основанный на физических исследованиях (например, моделировании сценариев пожара или распространения затопления).

7.8. Потенциальный отказ средств защиты, таких как ограждения или физическое разделение, который может привести к распространению повреждения на другие зоны станции, следует рассматривать посредством конкретного детального анализа опасностей.

7.9. 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.

7.10. Поскольку информация, полученная путем обходов станции, может иметь большое значение в контексте ВАБ уровня 1 для внутренних опасностей, такие обходы следует тщательно планировать и организовывать, а их результаты документально фиксировать.

7.11. Обходы станции желательно проводить в начале процесса выполнения ВАБ уровня 1 для внутренних опасностей, однако для решения некоторых задач (например, для детального анализа отдельных опасностей) может потребоваться организация специальных обходов.

7.12. Сочетание вероятностей отказов учитываемых КСЭ, вызванных внутренними опасностями, и вероятностей независимых отказов в модели ВАБ уровня 1 позволит определить частоту повреждения активной зоны и/или топлива в результате опасных воздействий.

7.13. Следует рассчитывать совокупный вклад внутренних опасностей, рассматриваемых в рамках граничной оценки, и фиксировать его в заключительных результатах ВАБ уровня 1.

7.14. Если все воздействия конкретной опасности на станцию не исчерпываются единым сценарием, как это обычно и происходит, следует разработать набор сценариев для этой внутренней опасности.

АНАЛИЗ ВНУТРЕННИХ ПОЖАРОВ

Общие сведения

7.15. ВАБ 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 ВАБ уровня 1 для внутренних пожаров следует принимать во внимание [33]:

- a) вероятность возникновения пожара в любой точке площадки;
- b) потенциальную возможность распространения пожара на другие участки;
- c) средства пожарной сигнализации, тушения и локализации пожаров;
- d) возможность повреждения оборудования в результате срабатывания систем пожаротушения. Например, разбрызгивание воды и затопление в результате работы систем пожаротушения может вывести из строя оборудование, которое могло бы в ином случае выдержать пожар, или может быть изменен вид отказа такого оборудования;
- e) воздействие огня на КСЭ и связанные с ними кабели; в рассматриваемые эффекты следует включать новые виды отказа, вызванные ложными срабатываниями оборудования вследствие воздействия высоких температур;
- f) вероятность повреждения КСЭ и нарушения целостности станционных конструкций (например, стен, потолков, колонн, балок перекрытий);
- g) влияние пожара на вероятность отказов компонентов;

- h) влияние пожара на действия персонала и вероятность ошибок персонала;
- i) влияние пожара — как прямое (например, необходимость эвакуации персонала пункта управления), так и косвенное (например, получение некорректной информации на основе ложных показаний приборов) — на действия эксплуатационного персонала и работу учитываемых КСЭ.

7.16. Наличие физического разделения (противопожарных перегородок) между резервированными каналами КСЭ, важных для безопасности, может снизить степень ущерба от пожара. При количественной оценке вклада пожара в частоту повреждения активной зоны и/или топлива в модели ВАБ уровня 1 для внутренних пожаров следует учитывать вероятности случайных отказов оборудования, не затронутого пожаром, а также возможность вывода его из эксплуатации для испытаний или технического обслуживания.

7.17. В частности, в ВАБ уровня 1 для внутренних пожаров следует учитывать воздействие дыма, принимая во внимание следующее:

- a) задымление, особенно в сочетании с высокой температурой, может стать причиной отказа электротехнических и/или электронных устройств;
- b) вследствие задымления (дым может быть токсичным или просто иметь раздражающий эффект) и высокой температуры может увеличиться вероятность ошибок персонала;
- c) задымление может потребовать эвакуации персонала блочного пункта управления.

7.18. При выполнении ВАБ уровня 1 для внутренних пожаров в состояниях останова следует учитывать следующие особые моменты:

- a) конкретные методологические аспекты ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий в состояниях останова, описанные в разделе 9;
- b) потенциально более высокие пожарные нагрузки, дополнительные пожарные нагрузки (например, временное присутствие горючих веществ) и дополнительные источники возгорания, обычно связанные с операциями по техническому обслуживанию, выполняемыми в состояниях останова;
- c) наличие средств противопожарной защиты;

- d) возможность существования дополнительных путей распространения пожара (например, в состояниях останова некоторые двери могут быть открыты);
- e) увеличение присутствия персонала в различных местах станции во время простоев оборудования, которое может улучшить возможности для обнаружения пожара, но может также привести к появлению дополнительных источников возгорания;
- f) связанные с противопожарной безопасностью изменения в эксплуатации и конфигурации станции, которые вносятся для контроля горючих веществ, а также в порядке принятия компенсационных мер в периоды простоя системы или ее компонентов.

7.19. В качестве источника важных исходных данных для ВАБ уровня 1 в отношении внутренних пожаров следует использовать детерминистический анализ пожарной опасности и анализ пожарной безопасности в режиме останова, выполняемые, в зависимости от обстоятельств, в процессе проектирования (см. SSG-64 [6]) и эксплуатации станции (см. публикацию Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-77, «Защита от внутренних и внешних опасностей при эксплуатации атомных электростанций» [34]). Такая информация может включать в себя перечень компонентов и кабелей, их расположение, деление станции на «противопожарные отсеки»³⁹ с учетом функционального анализа и детального анализа воздействия пожара, выполненных специально для нужд проектирования средств противопожарной защиты.

7.20. Подход к ВАБ уровня 1 для внутренних пожаров следует основывать на методичном анализе всех мест на территории станции (см. [33]). Для облегчения этого анализа станцию следует поделить на противопожарные отсеки, которые затем будут тщательно изучаться по отдельности. В качестве отправной точки для выделения таких физических зон может оказаться полезным разделение станции на отдельные участки в проекте. Критерии, применяемые для определения противопожарных отсеков, следует обосновывать и документально фиксировать.

³⁹ В SSG-64 [6] противопожарный отсек определяется как «здание или часть здания, полностью окруженные противопожарными перегородками, т.е. всеми стенами, полом и потолком». В отличие от этого определения, в контексте ВАБ для внутренних пожаров противопожарный отсек может просто представлять собой должным образом замкнутое помещение, необязательно окруженное противопожарными перегородками.

7.21. Процесс выполнения ВАБ уровня 1 для внутренних пожаров обычно включает в себя задачи, показанные на рис. 3⁴⁰ и описанные в пунктах 7.22–7.71. В контексте настоящего Руководства по безопасности сценарий пожара определяется в категориях источника возгорания и степени ущерба, причиненного пожаром в пределах того или иного противопожарного отсека. В соответствии с уровнем детальности анализа в контексте ВАБ уровня 1 для внутренних пожаров частота возникновения конкретного сценария пожара зависит от частоты возгораний и вероятности успешного тушения огня.

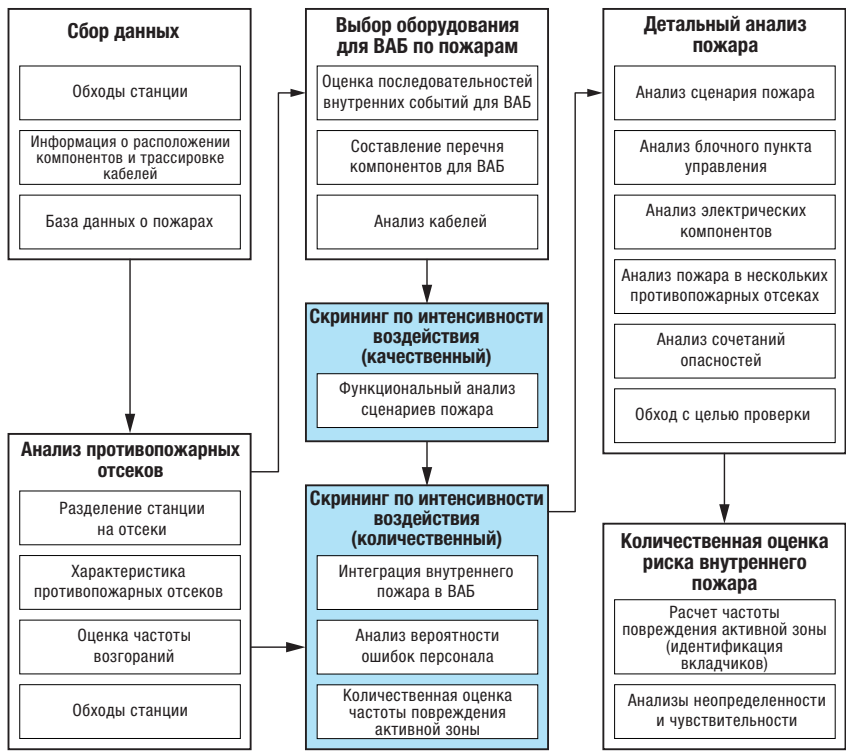


Рис. 3. Процесс выполнения ВАБ уровня 1 для внутренних пожаров.

⁴⁰ Процесс скринингового анализа, показанный на рис. 3, следует выполнять с надлежащим учетом вероятности распространения пожара (см. также пункт 7.38).

Сбор данных и оценка вероятности внутреннего пожара

7.22. Деятельность по сбору и оценке данных в ВАБ уровня 1 для внутренних пожаров имеет целью подготовку необходимых данных. Ее следует сфокусировать на сборе данных по конкретной станции и площадке, необходимых для моделирования пожарных рисков. Вместе с тем некоторые данные, используемые в ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий, потребуются подвергнуть переоценке с учетом условий, вызванных пожаром.

7.23. В данные по конкретной станции с целью выполнения ВАБ уровня 1 для внутренних пожаров следует включать:

- a) трассировку кабелей на станции, в том числе кабельные каналы, кабелепроводы, кабельные лотки и ограждения;
- b) физические характеристики противопожарных отсеков и их содержимого (см. пункт 7.25);
- c) сведения об опыте эксплуатации, касающиеся:
 - i) случаев возгорания;
 - ii) наблюдений за отказами и/или ухудшением состояния средств противопожарной защиты;
- d) информацию о компонентах в конкретных противопожарных отсеках с указанием их потенциальной опасности как источника возгорания (т.е. об отказах компонентов, которые могут вызвать пожар, и временно присутствующих в отсеке горючих веществ);
- e) оценки надежности средств пожарной сигнализации и пожаротушения;
- f) действия персонала в случае пожара;
- g) наличие противопожарной бригады и ее возможности;
- h) характеристики системы и оборудования пожаротушения (например, скорость срабатывания системы, противопожарные реагенты, способные повредить оборудование или сделать невозможным доступ персонала в противопожарный отсек);
- i) виды отказа оборудования, связанные с пожарами, и критерии оценки причиненного пожаром ущерба;
- j) регламенты, применяемые в случае пожаров, и технические спецификации.

7.24. Ввиду большого объема и характера информации, собираемой и сохраняемой с целью выполнения ВАБ уровня 1 для внутренних пожаров, следует изучить вопрос о создании соответствующей базы данных как вспомогательного средства.

Анализ противопожарных отсеков

7.25. Для целей выполнения ВАБ в отношении внутренних пожаров все здания и сооружения, включенные в анализ, следует разделить на отдельные противопожарные отсеки, которые рассматриваются индивидуально. В набор характеристик противопожарных отсеков следует включать, как минимум:

- a) их физические границы (например, стены, двери, заслонки, проходки, расстояние);
- b) имеющиеся средства противопожарной защиты (например, системы и оборудование пожарной сигнализации и пожаротушения);
- c) предел огнестойкости перегородок, окружающих отсек;
- d) компоненты и оборудование, в том числе кабели, расположенные внутри противопожарного отсека;
- e) смежные противопожарные отсеки и соединения между ними;
- f) вентиляционные каналы (воздуховоды), соединяющие анализируемый противопожарный отсек с не примыкающими к нему отсеками;
- g) пожарную нагрузку (например, тип, величину, с защитой или без защиты, расположение, местное распределение, постоянного или временного характера);
- h) потенциальные источники возгорания (например, тип, количество, местоположение);
- i) регламенты и другие административные меры контроля горючих материалов;
- j) количество присутствующего персонала (т.е. возможность обнаружения возгорания персоналом);
- k) доступность данного места (например, для пожарной бригады).

7.26. 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 это возможно, каждого противопожарного отсека на территории всей станции. Данную проверку следует проводить таким образом, чтобы обеспечить соответствие собранных данных текущему фактическому состоянию станции.

7.27. Важной частью ВАБ уровня 1 для внутренних пожаров является оценка частоты возгораний — как для противопожарных отсеков, так и для источников возгорания, — которую следует выполнять либо до скрининга

всех противопожарных отсеков, либо в начале процесса количественного скрининга наиболее важных противопожарных отсеков, успешно прошедших процедуру качественного скрининга.

7.28. Частоту возгораний, связанную с источниками возгорания и/или противопожарными отсеками, следует оценивать, насколько это возможно, при помощи данных по конкретной станции. Если таких данных недостаточно, то параллельно с имеющимися данными по конкретной станции для оценки частоты возгораний следует использовать обобщенные данные, скорректированные с учетом присутствия фактических источников возгорания (включая источники, связанные с проведением пожароопасных работ) и количества постоянно и временно находящихся в противопожарном отсеке горючих материалов и источников возгорания.

7.29. При оценке частоты возгораний следует учитывать потенциальные ошибки персонала, приводящие к пожарам в определенных эксплуатационных состояниях (например, пожары по вине человека, в том числе кратковременные пожары и пожары, вызванные сварочными работами, резкой или другими работами с открытым пламенем при различных режимах эксплуатации станции).

7.30. Частоту возникновения пожара следует оценивать как среднее значение с интервалами статистической неопределенности.

ВАБ уровня 1 для внутренних пожаров — выбор оборудования

7.31. На основании изучения компонентов станции, рассматриваемых в ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий, следует составить перечень оборудования, которое будет моделироваться при ВАБ уровня 1 для внутренних пожаров. В этот перечень следует включить оборудование, отказ которого вследствие пожара может иметь одно или более из нижеследующих последствий:

- a) может вызвать исходное событие;
- b) может повлиять на способность функций безопасности к смягчению воздействия исходного события;
- c) может повлиять на действия эксплуатационного персонала после наступления исходного события, вызванного пожаром (события с ошибкой персонала типа C);

- d) может приводить к ложным срабатываниям систем, которые могут вызывать другие опасные для станции эффекты как при работе на номинальной мощности, так и 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 выдаче ошибочной информации станционными контрольно-измерительными приборами и системами сигнализации. Глубину анализа ложных срабатываний оборудования следует соотнести с объемом ВАБ и особое внимание в анализе следует уделять оборудованию или видам отказа, не охваченным ВАБ уровня 1.

7.32. Следует идентифицировать компоненты станции и все связанные с ними элементы модели ВАБ для внутренних исходных событий, которые имеют значение для выполнения ВАБ уровня 1 для внутренних пожаров. Изначальную основу для скрининга или включения видов отказа компонентов в модель ВАБ для внутренних исходных событий следует систематически пересматривать с целью подтверждения обоснованности допущений, сделанных в отношении вызванных пожаром отказов, и в случае необходимости модель для внутренних исходных событий следует расширять. В связи с тем, что пассивные компоненты также могут быть затронуты пожаром, уязвимые части таких компонентов следует включить в ВАБ уровня 1 для внутренних пожаров.

7.33. Неотъемлемой частью этого анализа следует сделать идентификацию всех кабелей и электрических цепей, связанных с компонентами, указанными в пунктах 7.31 и 7.32, а также анализ трассировки кабелей. Кроме того, следует рассмотреть возможность повреждения в результате пожара неэлектрических контуров, например линий подачи сжатого воздуха систем контроля и управления.

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

Скрининг по интенсивности воздействия

7.35. Скрининг по интенсивности воздействия следует применять для отсева малозначащих сценариев пожара исходя из качественных (учитывающих интенсивность воздействия) критериев. Скрининг начинается с идентификации важнейших противопожарных отсеков и зон, после чего на основе пессимистических допущений задаются потенциальные сценарии пожара в одном или нескольких отсеках. В учитывающих интенсивность воздействия критериях, используемых для отсева отдельных сценариев пожара, следует принимать во внимание характеристики противопожарных отсеков, имеющих отношение к этому сценарию.

7.36. Противопожарный отсек может быть исключен из рассмотрения ввиду его незначительного потенциального влияния на безопасность станции, если выполняется одно или оба из нижеперечисленных требований:

- a) плотность пожарной нагрузки (в расчете на единицу площади противопожарного отсека) ниже принятого порогового значения, и возможность распространения пожара крайне мала;
- b) выполняются все указанные ниже условия:
 - i) в отсеке отсутствует оборудование, могущее стать причиной исходного события или требующее отключения вручную;
 - ii) в отсеке нет ни систем, значимых с точки зрения безопасности (т.е. систем, которые необходимы для безопасного останова станции), ни относящихся к ним кабелей или обеспечивающих систем;
 - iii) потенциальная возможность распространения воздействия пожара на другие противопожарные отсеки с КСЭ, важными для безопасности, крайне мала.

7.37. Для целей скрининга все компоненты и кабели, подвергшиеся воздействию огня, следует считать вышедшими из строя (т.е. обычно принимается пессимистическое допущение о неэффективном действии или несрабатывании средств пожарной сигнализации и пожаротушения). Прочие защитные меры (такие как огнестойкие экраны, защитные покрытия, корпуса, не аттестованные по огнестойкости) обычно в расчет не принимаются.

7.38. При скрининге по интенсивности воздействия следует также учитывать сценарии пожара в нескольких отсеках, разработанные с учетом пессимистических допущений относительно распространения пожара. Для каждого противопожарного отсека определяются комплексы отсеков, на которые может распространиться пожар, путем добавления к этому отсеку всех отсеков, примыкающих к нему со всех направлений, и всех отсеков, связанных с ним вентиляционными каналами, но необязательно смежных с ним. Затем следует провести анализ всех возможных комбинаций противопожарных отсеков на предмет потенциального распространения огня на смежные или соединенные с ним противопожарные отсеки. Для ограничения числа требующих рассмотрения комбинаций могут быть сделаны общие пессимистические допущения в отношении надежности и эффективности элементов противопожарных перегородок, основанные на данных соответствующих программ аттестации, отраслевых данных и сведениях о работе установки в прошлом.

7.39. При анализе следует учесть возможность распространения пожара, возникшего за пределами станционных сооружений, на противопожарные отсеки внутри сооружений (например, возможность распространения пожара с трансформаторной подстанции на турбинный зал).

7.40. В случае площадки с несколькими энергоблоками и/или несколькими источниками радиации⁴¹ при анализе следует учесть потенциальную возможность распространения пожара с одного энергоблока или источника радиации на противопожарные отсеки другого энергоблока или источника. Кроме того, следует учесть возможность возникновения пожаров на объектах совместного использования (например, общих для нескольких энергоблоков дизель-генераторах, распределительных устройствах).

Скрининг по вкладу в частоту повреждения

7.41. Скрининг противопожарных отсеков по их вкладу в частоту повреждения активной зоны и/или топлива, осуществляемый на основании количественных критериев, направлен на дальнейшее исключение из анализа противопожарных отсеков или их комбинаций, оставшихся после первого этапа качественного скрининга по интенсивности воздействия.

⁴¹ Оценки площадок с несколькими источниками радиации подразумевают учет потенциальных параллельно возникающих сценариев аварий, затрагивающих расположенные рядом друг с другом источники радиации (например, активную зону, бассейн выдержки отработавшего топлива).

Включение внутренних пожаров в ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий

7.42. На этом этапе следует рассчитать вклад пожара в частоту повреждения активной зоны и/или топлива, используя вероятностную модель, разработанную на основе существующей модели ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий. Такая модель, как правило, используется для расчета условной вероятности повреждения активной зоны и/или топлива применительно к конкретным сценариям пожара. Для оценки частот возникновения сценариев пожара и связанной с этим условной неготовности требуемых функций безопасности вследствие пожара следует сделать пессимистические допущения с учетом следующих аспектов:

- a) роста и распространения пожара;
- b) воздействия пожара на оборудование (например, все оборудование внутри противопожарного отсека считается вышедшим из строя);
- c) действий по борьбе с пожаром (например, средства пожарной сигнализации и пожаротушения не учитываются в анализе);
- d) вероятности возникновения соответствующих событий, вызванных ошибками персонала.

7.43. Используя эти допущения для каждого оставшегося противопожарного отсека, следует видоизменить модель ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий, чтобы смоделировать воздействие пожара в этом отсеке, распространение пожара на другие отсеки и соответствующие исходные события и виды отказа оборудования. Это позволит рассчитать для каждого противопожарного отсека условную вероятность повреждения активной зоны и/или топлива, на основе которой по формуле (1) можно вычислить общий вклад пожара в частоту повреждения активной зоны и/или топлива.

Анализ вероятности ошибок персонала при возникновении пожаров

7.44. Для оценки воздействия пожара на учитываемые восстановительные работы и действия персонала, смоделированные в ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий, следует пересмотреть вероятности совершения персоналом ошибок при выполнении восстановительных работ и работ после аварийного останова реактора. При оценке ошибок персонала типа С в рамках ВАБ уровня 1 для внутренних пожаров следует принять

во внимание указанные ниже аспекты (общие руководящие указания по выполнению анализа надежности персонала при возникновении пожаров см. в [18]).

- a) События, вызванные ошибками персонала, которые включены в модель ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий, но также релевантны для сценариев пожарной опасности. В этом случае следует проверять наличие необходимости в переоценке факторов, влияющих на работоспособность персонала, поскольку выполнение производственных задач может оказаться для эксплуатационного персонала более сложным, чем при базовом сценарии (например, вследствие повышенного уровня стресса во время пожара).
- b) События, вызванные ошибками персонала, которые относятся только к пожарной опасности, включая эвакуацию из блочного и/или резервного пункта управления. В данном случае методы, используемые для оценки ошибок персонала, связанных с пожаром, могут, как правило, основываться на тех же принципах, на каких основываются методы анализа других типов ошибок персонала.
- c) Нежелательные меры, принимаемые эксплуатационным персоналом в ответ на ложное срабатывание сигнализации и ложную индикацию приборов вследствие пожара.

7.45. При использовании представленного в разделе 5 подхода к анализу надежности персонала следует анализировать факторы, влияющие на работоспособность персонала, учитывая особые формы воздействия пожара, такие как дополнительный стресс, возможность поступления противоречивых сигналов, задымление, отключение освещения и трудности со входом в зону пожара или передвижением через нее.

7.46. Если восстановительные действия персонала учитываются в модели ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий, то следует проверить реальную возможность выполнения таких действий. Например, выполнение определенных восстановительных действий в охваченном пожаром помещении может быть затруднено.

Количественная оценка вклада внутреннего пожара в частоту повреждения активной зоны и/или топлива для целей скрининга

7.47. Для проведения количественного скрининга следует оценить вклад внутреннего пожара в частоту повреждения активной зоны и/или топлива применительно к каждому противопожарному отсеку с учетом соответствующей частоты возникновения сценария пожара в соответствии с формулой (1), а также потенциальной возможности распространения огня.

7.48. Количественный скрининг следует основывать на пессимистической оценке условной вероятности повреждения активной зоны и/или топлива или на абсолютном показателе вклада пожара в частоту повреждения активной зоны и/или топлива. Для количественного скрининга противопожарных отсеков могут быть определены два указанных ниже критерия.

- 1) Совокупный вклад пожара в частоту повреждения активной зоны и/или топлива для всех прошедших скрининг противопожарных отсеков не должен превышать заданного порогового значения. Такое пороговое значение может быть определено как конкретная абсолютная величина либо представлено в относительном выражении (например, как вклад внутренних исходных событий в частоту повреждения активной зоны и/или топлива).
- 2) Вклад пожара в отдельном противопожарном отсеке в частоту повреждения активной зоны и/или топлива достаточно низок для того, чтобы были сохранены все сценарии пожара, значимые с точки зрения риска. Пороговое значение для скрининга может быть определено таким же образом, как для предыдущего критерия, но должно быть как минимум на порядок ниже.

7.49. При скрининге по вкладу пожара в частоту повреждения активной зоны и/или топлива следует учитывать частоту повреждения нескольких противопожарных отсеков как произведение частоты возгораний в одном противопожарном отсеке и условной вероятности распространения огня на другие отсеки.

7.50. Результатом всего процесса скрининга (по интенсивности воздействия и по частоте) будет:

- а) перечень сценариев пожара или противопожарных отсеков, которые не вносят существенного вклада в риск и могут быть исключены из детального анализа. Однако оценку риска, связанного с исключенными из анализа сценариями пожара или противопожарными отсеками, следует сохранить в общих результатах ВАБ уровня 1 для внутреннего пожара;
- б) перечень сценариев пожара, связанных с противопожарными отсеками, которые могут вносить существенный вклад в риск и требуют дальнейшего рассмотрения. Для нужд дальнейшего анализа для каждого сценария пожара, присутствующего в этом перечне, следует разработать количественную модель ВАБ уровня 1 для внутренних пожаров.

Детальный анализ пожара

Анализ сценариев пожара

7.51. Целью детального анализа пожара следует сделать снижение уровня консерватизма в сценариях пожара, уже отобранных в процессе скрининга. По возможности для проверки результатов детального анализа следует проводить специальные обходы с целью сбора дополнительной информации. В частности, следует учитывать следующие аспекты:

- а) наличие противопожарных перегородок, меры физического разнесения и разделения и другие средства защиты от пожара внутри отсека;
- б) расположение учитываемых КСЭ;
- с) расположение и эффективность средств борьбы с пожаром (например, систем пожаротушения);
- д) рост и распространение пожара внутри противопожарного отсека;
- е) прямые формы воздействия пожара, такие как пламя, шлейф пламени, припотолочный поток, тепловое излучение горячих газов, дым и копоть;
- ф) косвенные формы воздействия пожара, такие как последствия применения средств пожаротушения или последующие дуговые разряды.

7.52. Следует применять более реалистичные модели для оценки действий персонала по снижению вероятности повреждения оборудования, роста и распространения пожара и воздействия пожара на КСЭ.

7.53. Следует оценивать воздействие пожара и побочных продуктов пожара (например, дыма, токсичных газов) на работоспособность персонала. Следует также отметить, что избыточное давление в результате пожара может препятствовать открытию дверей, необходимых для доступа персонала в места выполнения восстановительных действий или пожарных для тушения пожара.

7.54. Выбор конкретных инструментов моделирования для анализа роста и распространения пожара (например, кодов моделирования пожара) следует обосновывать и документально фиксировать.

7.55. В сценариях пожара следует описывать развитие во времени пожара, начавшегося в выбранном отсеке, а также любые последующие повреждения КСЭ, в том числе кабелей. Сценарий пожара следует представить в модели ВАБ уровня 1 для внутреннего пожара (например, деревьями событий, связанных с пожаром; пример см. в приложении II), где моделируются все важные элементы, влияющие на развитие пожара (т.е. конструкция и качество противопожарных перегородок, модель роста и распространения пожара и критерии повреждения оборудования, подвергающегося риску, в том числе кабелей и средств противопожарной защиты и пожаротушения). Для определения подобных деревьев событий, связанных с пожаром, следует применять рекомендации, содержащиеся в разделе 5.

7.56. Для подлежащих анализу сценариев пожара следует оценивать надежность персонала при выполнении ручных операций и надежность компонентов систем сигнализации и пожаротушения при помощи той же методологии, которая изложена в разделе 5 для ВАБ в отношении внутренних исходных событий, принимая во внимание аспекты, упомянутые в пунктах 7.44–7.46.

7.57. В сценариях пожара следует учитывать пути, по которым может распространяться пожар (например, вентиляционные каналы, кабельные лотки и желоба, разрушенные противопожарные перегородки).

7.58. Для противопожарных отсеков, рассматриваемых в детальном анализе пожара, данные о частоте возникновения сценария пожара следует дополнять соответствующими сведениями о специфике противопожарного отсека, такими как присутствие временных пожарных нагрузок и источников возгорания и степень их воспламеняемости.

7.59. Заданную эффективность и время реагирования автоматических и ручных средств пожарной сигнализации и пожаротушения следует обосновывать для конкретных сценариев пожара наряду с заданной вероятностью того, что пожар не будет ликвидирован.

Анализ пожара на блочном и резервном пунктах управления

7.60. В модели ВАБ уровня 1 для внутреннего пожара на блочном и резервном пунктах управления следует учитывать специфические особенности, связанные с этими местами, такие как глубокое воздействие пожара на пунктах управления на работу всех учитываемых систем, возможность ложного срабатывания систем и влияние пожара на пунктах управления на действия эксплуатационного персонала. К последнему следует отнести:

- a) воздействие пожара и его побочных продуктов (например, дыма, копоти) на готовность контрольно-измерительной аппаратуры и связанного с ней оборудования;
- b) эффективность средств пожарной сигнализации и пожаротушения, включая потенциальное негативное воздействие косвенных последствий пожара, которые обычно возникают в результате тушения пожара (например, воздействие огнетушащих веществ);
- c) использование альтернативного пункта для выполнения безопасного останова с учетом аспектов доступности, взаимозависимости и других возможных ограничений;
- d) потенциальные виды отказа в результате пожара, затрагивающие одновременно блочный и резервный пункты управления (например, ложное срабатывание переключателей в результате пожара на резервном пункте управления, которое может привести к переводу управления с блочного пункта управления на резервный);
- e) последствия распространения побочных продуктов пожара, таких как дым или токсичные газы.

Кроме того, следует принимать во внимание распространение огня в помещениях пунктов управления, в том числе наличие средств физического разнесения и разделения панелей управления, таких как аттестованные противопожарные перегородки, а также разнесение в пространстве резервированных каналов.

7.61. Анализ пожаров в помещениях с несколькими отсеками имеет целью выявление возможных значимых с точки зрения риска сценариев пожаров в нескольких противопожарных отсеках. Следует исходить из того, что пожар может распространяться из одного отсека в другой через противопожарные перегородки между отсеками, в частности через подвижные элементы противопожарных перегородок, такие как двери или заслонки, или через проходки в противопожарных перегородках, такие как кабельные лотки или вентиляционные шахты. Детальный анализ пожара в нескольких отсеках следует базировать на модели разрастания пожара, модели для анализа распространения пожара и модели обнаружения и тушения пожара.

7.62. Что касается отдельных противопожарных отсеков, то при детальном анализе пожара в помещениях с несколькими отсеками следует учитывать глубину распространения пожара и распространение прямых и косвенных воздействий пожара, включающих в себя не только теплопередачу между противопожарными отсеками, но и распространение других побочных продуктов пожара, таких как огнетушащие вещества.

Анализ пожара в помещениях с электрооборудованием

7.63. Помещения с электрооборудованием, помещения распределительных устройств, помещения для разводки кабелей и другие помещения, содержащие электроаппаратуру контроля и управления, являются естественными центрами сосредоточения оборудования и электропроводки. Находящиеся в них электрооборудование и кабели могут быть связаны с более чем одним каналом учитываемой системы. Поэтому потенциальное воздействие пожара на резервное оборудование, важное для безопасности, или на другое оборудование, связанное с ВАБ уровня 1, вероятно, будет более серьезным, чем воздействие пожара в других местах станции, и это следует учитывать при анализе.

7.64. Существует также высокая вероятность единичных или множественных ложных срабатываний электрооборудования по причине коротких замыканий в этих местах вследствие пожара. При анализе ложных

срабатываний электрооборудования следует определять отказы отдельных электрических цепей вследствие пожара и оценивать соответствующие условные вероятности.

Анализ сочетаний опасностей

7.65. Следует оценивать вероятность возникновения сочетаний пожарных и иных опасностей в комбинациях всех типов, упомянутых в пункте 6.12 (в соответствии с их определением в SSG-64 [6]). Комбинации, включающие пожар как следствие других опасностей, следует рассматривать в ВАБ уровня 1 для этих опасностей, в то время как комбинации пожара и других логически вытекающих из него опасностей следует рассматривать в ВАБ уровня 1 для внутренних пожаров. Для комбинаций пожаров и других опасностей, коррелирующих между собой в силу общей причины, и комбинаций пожаров с несвязанными опасностями (т.е. происходящими одновременно, но независимо), которые не были исключены в процессе скрининга, аналитикам следует определиться с тем, в каком из ВАБ уровня 1 будут учитываться эти сочетания опасностей — для внутренних пожаров или для одной из этих других опасностей.

7.66. Качественный анализ внутренних пожаров, вызванных другими видами опасных воздействий (например, сейсмической активностью, молнией, внешним пожаром, крушением самолета), следует выполнять в рамках анализов, выполняемых для этого исходного события (см. раздел 6). Следует анализировать противопожарные отсеки, где совокупное воздействие других опасностей и пожара может быть значимым с точки зрения безопасности. Примеры рассматриваемых воздействий включают в себя следующее: источники возгорания в результате опасных воздействий, ложное срабатывание или ухудшение состояния систем пожаротушения и трудности с выполнением ручных действий по тушению пожара (рекомендации по проведению ВАБ уровня 1 для внешних опасностей см. в разделе 8).

7.67. Следует принимать во внимание следующие формы воздействия внутреннего пожара, вызванного другими опасностями, на факторы, влияющие на работоспособность персонала (или другие факторы, в зависимости от метода анализа надежности персонала):

- а) доступность представляющих интерес отсеков после начала пожара;
- б) повышенный уровень стресса;
- с) отказы индикации или ложная индикация приборов;

- d) комбинированные формы воздействия пожара на поведение эксплуатационного персонала.

Количественная оценка риска внутреннего пожара

7.68. В полную модель ВАБ уровня 1 следует включать конкретные модели, разработанные для детального анализа ВАБ уровня 1 для внутренних пожаров (например, модель пожара на блочном пункте управления, модель для оценки воздействия единичных или множественных ложных срабатываний компонентов вследствие пожара).

7.69. С учетом результатов детального анализа следует выполнить окончательную количественную оценку вклада внутреннего пожара в частоту повреждения активной зоны и/или топлива для противопожарных отсеков, оставшихся после скрининга. Результаты и модель, используемые для количественного скрининга противопожарных отсеков по частоте, следует включить в ВАБ уровня 1 для внутреннего пожара. Результаты ВАБ уровня 1 для внутреннего пожара следует интерпретировать путем определения основных факторов, влияющих на частоту повреждения активной зоны и/или топлива (например, противопожарных отсеков, сценариев пожара, соответствующих действий персонала). На этом заключительном этапе следует проанализировать допущения, сделанные при скрининге, с целью оценки влияния скрининга на частоту повреждения активной зоны и/или топлива.

7.70. При количественной оценке модели ВАБ уровня 1 для внутреннего пожара, анализе неопределенностей, анализе значимости и анализе чувствительности следует руководствоваться рекомендациями, представленными в разделе 5. Анализ неопределенностей следует выполнить с целью выявления и оценки источников неопределенности. Исследования чувствительности и анализ значимости следует провести с целью определения элементов ВАБ уровня 1 для внутреннего пожара, значимых с точки зрения риска. Исследования чувствительности следует также проводить в отношении важных допущений и данных. Следует определить относительную значимость различных факторов, влияющих на результаты расчета.

Документация ВАБ уровня 1 для внутреннего пожара

7.71. В соответствии с требованием 20 GSR Part 4 (Rev. 1) [3] документацию ВАБ уровня 1 следует оформлять таким образом, чтобы это облегчало его рассмотрение, применение и актуализацию. В документацию следует включать следующую информацию:

- a) описание средств противопожарной защиты на конкретной станции, включая пассивные и активные средства уменьшения воздействий на станцию, а также разделение станции на противопожарные отсеки;
- b) описание конкретных методов и данных, использованных для оценки внутренней пожарной опасности;
- c) описание изменений, внесенных в модель ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий с целью учета воздействий внутреннего пожара;
- d) характеристику противопожарных отсеков;
- e) обоснование исключения конкретных противопожарных отсеков из анализа;
- f) результаты анализа сценариев пожара, включая детальный анализ (например, для блочного пункта управления, пожара в нескольких отсеках);
- g) окончательные результаты ВАБ уровня 1 для внутреннего пожара с точки зрения частоты повреждения активной зоны и/или топлива;
- h) отчет об обходе станции для нужд анализа пожарной опасности.

АНАЛИЗ ВНУТРЕННЕГО ЗАТОПЛЕНИЯ

Общие сведения

7.72. ВАБ уровня 1 для внутреннего затопления представляет собой вероятностный анализ событий, связанных с выбросом жидкостей (обычно воды), происходящим на площадке атомной электростанции или внутри сооружений станции, и потенциального воздействия такого выброса на безопасность. Процесс проведения ВАБ уровня 1 для внутреннего затопления обычно предполагает выполнение задач, показанных на рис. 442

⁴² Процесс скрининга, показанный на рис. 4, должен выполняться с надлежащим учетом возможности распространения затопления (см. пункты 7.76, 7.77 и 7.85).

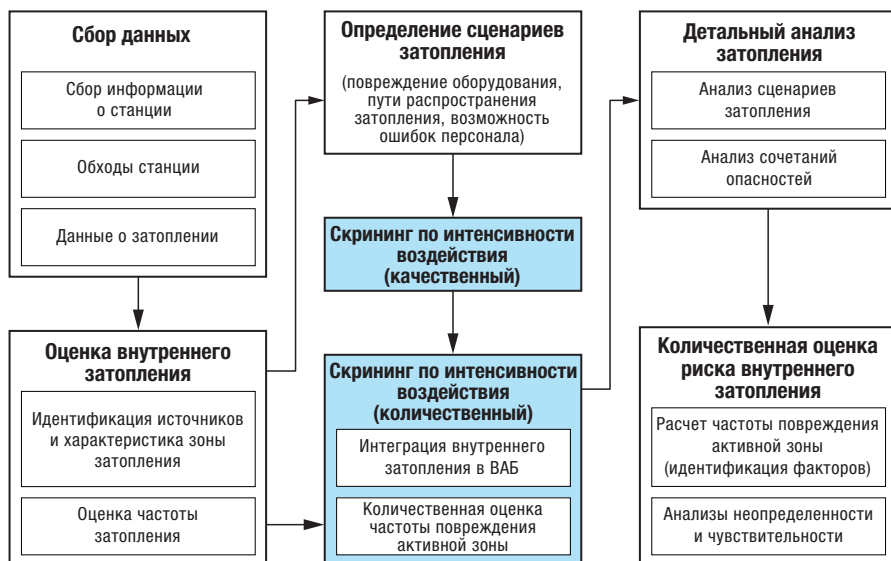


Рис. 4. Процесс выполнения ВАБ уровня 1 для внутренних затоплений.

и описанных в пунктах 7.73–7.107. Для ВАБ уровня 1 для внутреннего затопления в состояниях останова следует учитывать аспекты, аналогичные перечисленным для внутреннего пожара в пункте 7.15.

Сбор данных и оценка вероятности внутреннего затопления

7.73. На эксплуатируемых атомных электростанциях следует проводить специальные обходы станции для изучения вероятности внутреннего затопления с целью проверки точности информации, полученной из чертежей и других источников информации о станции, а также с целью получения информации о пространственных взаимодействиях для того, чтобы проанализировать возможный ущерб от каждого потенциального источника внутреннего затопления.

7.74. Следует идентифицировать и охарактеризовать возможные события, вызванные внутренним затоплением (рекомендации по защите от затоплений при проектировании атомных электростанций см. в SSG-64 [6]).

При выполнении данной задачи следует уделять внимание перечисленным ниже аспектам.

- a) Возможные источники затопления: трубы, резервуары, баки, бассейны, клапаны, теплообменники, соединения с открытыми источниками (например, морем, озером, рекой) и КСЭ, совместно используемые несколькими энергоблоками или источниками (например, пожарная водопроводная магистраль).
- b) Возможные механизмы затопления: разрывы, течи, трещины, ложное или штатное срабатывание спринклерной системы (например, спринклерной системы гермооболочки, системы пожаротушения) и ошибки персонала во время эксплуатации или выполнения работ по техническому обслуживанию (например, неправильно выставленное положение или непреднамеренное открытие клапана).
- c) Характеристики затопления: объем (в зависимости от того, является ли источник затопления закрытой или открытой системой), расход, температура и давление, присутствие либо возможное образование пара.
- d) Системы сигнализации о затоплении, системы обнаружения течей, емкости дренажных систем и защита компонентов от затопления (такая как сигналы аварийного отключения оборудования), а также средства изоляции при затоплениях (например, клапаны).
- e) Критическая высота затопления компонентов, учитываемых в ВАБ, и размеры помещений в зонах затопления.

7.75. При выявлении потенциальных событий, вызванных затоплением, особое внимание следует уделять состояниям останова станции, поскольку во время останова направления водных потоков часто меняются вручную.

7.76. Следует определять зоны станции, которые могут быть затронуты внутренним затоплением, а также возможные пути распространения воды. При этом следует учитывать моменты, связанные с наличием нескольких энергоблоков и бассейнов выдержки отработавшего топлива, а также потенциальную возможность отказов барьеров для защиты от затопления.

7.77. Станцию следует разделить на физически обособленные «зоны затопления», каждая из которых считается в целом независимой от других зон с точки зрения потенциальных последствий внутреннего затопления и возможного распространения затопления.

7.78. Частоту событий, вызванных внутренним затоплением, следует по возможности оценивать на основании данных по конкретной станции. Если таких данных недостаточно, могут быть использованы обобщенные данные или экспертные заключения с соответствующими обоснованиями.

7.79. Основными данными для оценки частоты событий, вызванных внутренним затоплением, являются оценки интенсивности отказов и частоты разрывов труб и связанные с ними неопределенности. В данных, собранных по трубопроводным системам, должны быть отражены существенные источники внутреннего затопления.

7.80. Кроме того, следует оценивать частоту и тяжесть случаев затопления вследствие ошибки персонала с учетом регламентов и опыта технического обслуживания конкретной станции, а также вследствие ложного срабатывания водяных систем пожаротушения.

7.81. Частоту затопления следует оценивать как усредненное значение с интервалами статистической неопределенности.

Определение сценариев внутреннего затопления

7.82. Для каждой зоны внутреннего затопления следует идентифицировать КСЭ, которые могут быть затронуты затоплением. Могут иметь значение следующие формы воздействия затопления на оборудование: погружение, температура, давление, брызги, пар, биение трубы или ударное воздействие струи в результате разрыва трубопровода высокого давления или заклинивания клапана. Следует обеспечить максимально возможную полноту анализа.

7.83. При рассмотрении КСЭ, затрагиваемых внутренним затоплением, следует учитывать высоту расположения, ограждения, двери и дренажи. Следует также учитывать возможность засорения дренажных систем.

7.84. Следует оценивать возможность распространения затопления из одной зоны в другую, в том числе отказа преград для защиты от затоплений.

7.85. Следует учитывать все возможные пути распространения затопления (например, негерметичные двери, дренажные системы оборудования, а также возможность того, что закрытые в обычной ситуации двери или люки могут остаться открытыми).

7.86. Следует определить местоположение, в том числе высоту расположения, и все средства защиты электротехнических и/или электронных компонентов (например, шкафы, соединительные коробки кабелей КСЭ, важных для безопасности), а также другого чувствительного к влажности оборудования. Таким образом может быть определена уязвимость компонентов к воздействию затопления.

7.87. Следует произвести оценку потенциального воздействия затопления на работу станции. В эту оценку следует включить ложные срабатывания систем или элементов вследствие затопления, которые могут вызвать определенные аварийные последовательности.

Скрининг по интенсивности воздействия

7.88. Следует провести скрининг сценариев внутреннего затопления по интенсивности воздействия. Могут быть отобраны критические зоны затопления путем исключения других зон, оказывающих ничтожно малое потенциальное воздействие на безопасность станции. Та или иная зона затопления может быть исключена из анализа, если удовлетворяется одно или оба из следующих требований:

- а) выполняются оба нижеследующих условия:
 - i) в зоне затопления нет оборудования, которое может вызвать исходное событие;
 - ii) ни в зоне, в которой произошло затопление, ни в зоне распространения затопления нет ни систем, необходимых для безопасного останова станции, ни их обеспечивающих систем;
- б) в зоне затопления нет никаких источников затопления, в том числе образующегося в других зонах затопления, которых было бы достаточно для того, чтобы вызвать отказ оборудования.

Скрининг по вкладу в частоту повреждения

7.89. Скрининг зон затопления по их вкладу в частоту повреждения активной зоны и/или топлива, выполняемый на основе количественных критериев, имеет целью дальнейший отсев зон затопления или множественных зон затопления, оставшихся после первого этапа качественного скрининга по интенсивности воздействия.

Включение внутреннего затопления в ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий

7.90. На этом этапе следует рассчитать вклад затопления в частоту повреждения активной зоны и/или топлива при помощи вероятностной модели, разработанной на основе существующей модели ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий. Такая модель обычно используется для расчета условной вероятности повреждения активной зоны и/или топлива для конкретных сценариев затопления. При оценке частоты реализации сценариев затопления и связанной с ними условной неготовности необходимых функций безопасности вследствие затопления следует делать пессимистические допущения в отношении следующих аспектов:

- a) динамика и распространение затопления;
- b) воздействие затопления на оборудование (например, все оборудование, оказавшееся в зоне затопления, считается недоступным для использования);
- c) меры по борьбе с затоплением;
- d) вероятность ошибок персонала, связанных с затоплением.

7.91. Сделав эти допущения для каждой оставшейся зоны затопления, следует видоизменить модель ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий таким образом, чтобы учесть последствия затопления внутри зоны, распространение затопления на другие зоны и связанные с затоплением внутренние события и виды отказа оборудования. Это позволит рассчитать условную вероятность повреждения активной зоны и/или топлива для каждой зоны затопления, на основе чего можно будет рассчитать общий вклад затопления в частоту повреждения активной зоны и/или топлива, применив формулу (1).

Анализ вероятности ошибок персонала при возникновении затопления

7.92. Для оценки воздействия внутреннего затопления на учитываемые восстановительные работы и действия персонала, смоделированные в ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий, следует пересмотреть вероятность ошибок персонала при выполнении восстановительных

действий и работ после останова реактора. При проведении оценки событий, вызванных ошибками персонала, типа С для внутреннего затопления следует принять во внимание указанные ниже аспекты.

- а) Ошибки персонала, которые включены в модель ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий, но также имеют отношение к сценарию затопления. В данном случае может возникнуть необходимость в переоценке факторов, влияющих на работоспособность персонала, поскольку выполнение производственных задач для эксплуатационного персонала может оказаться более трудным, чем при базовом сценарии (например, вследствие повышенного уровня стресса во время затопления).
- б) Ошибки персонала, относящиеся только к затоплению (например, ошибки, связанные с изолированием и последующим восстановлением электроснабжения). В данном случае методы, используемые для оценки ошибок персонала, связанных с затоплением, могут, как правило, основываться на тех же принципах, что и методы анализа других видов ошибок персонала. В модели ВАБ следует также учесть влияние конкретных действий по борьбе с затоплением на стационарные КСЭ.
- с) Нежелательные меры, принимаемые эксплуатационным персоналом в ответ на ложное срабатывание сигнализации и ложную индикацию приборов вследствие затопления.

7.93. При применении представленного в пунктах 5.97–5.122 подхода к анализу надежности персонала следует анализировать факторы, влияющие на работоспособность персонала, принимая во внимание конкретные формы воздействия затопления, такие как дополнительный стресс, потенциальная возможность поступления противоречивых сигналов, влажность, температура, отключение освещения и трудности со входом в зону затопления или передвижением через нее.

7.94. Если в модели ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий учтены восстановительные действия персонала, то следует проверить реальную возможность выполнения таких действий. Например, выполнение определенных восстановительных действий в пострадавшем от затопления помещении может быть затруднено.

Количественная оценка вклада внутреннего затопления в частоту повреждения активной зоны и/или топлива для целей скрининга

7.95. При решении задачи количественного скрининга следует использовать консервативный подход, при котором подразумевается, что все компоненты в зоне, затронутой затоплением, вышли из строя. Если это допущение не означает, что затопление внесет значительный вклад в частоту повреждения активной зоны и/или топлива (рассчитанный по формуле (1)), то данная зона затопления может быть исключена из детального анализа. Полученные результаты, однако, следует учесть в общих результатах ВАБ уровня 1 для внутреннего затопления.

7.96. В ВАБ уровня 1 для внутреннего затопления следует задавать количественные критерии скрининга по вкладу в частоту повреждения активной зоны и/или топлива. Примерами таких критериев могут быть следующие:

- a) совокупный вклад всех исключенных из анализа зон затопления в частоту повреждения активной зоны и/или топлива не должен превышать заданного порогового значения. Это пороговое значение может быть определено как конкретная абсолютная величина или выражено относительным показателем (например, как вклад внутренних исходных событий в частоту повреждения активной зоны и/или топлива);
- b) для отдельной зоны затопления вклад затопления в частоту повреждения активной зоны и/или топлива достаточно низок для того, чтобы все сценарии затопления, значимые с точки зрения риска, сохраняли свою актуальность.

7.97. Результатом всего процесса скрининга (т.е. скрининга по интенсивности воздействия и по частоте) будет:

- a) перечень сценариев затопления или зон затопления, которые не способны внести существенный вклад в риск и могут быть исключены из детального анализа. Однако оценку риска, связанного с исключенными из анализа сценариями затопления или зонами затопления, следует сохранить в общих результатах ВАБ уровня 1 для внутреннего затопления;
- b) перечень сценариев затопления, связанных с зонами затопления, которые способны внести существенный вклад в риск и поэтому требуют дальнейшего рассмотрения. Чтобы продолжить анализ, для

каждого сценария затопления, присутствующего в данном перечне, следует разработать количественную модель ВАБ уровня 1 для внутренних затоплений.

Детальный анализ затопления

Анализ сценариев затопления

7.98. Детальный анализ затопления следует нацелить на снижение уровня консерватизма в сценариях затопления, уже отобранных в процессе скрининга. По возможности для проверки результатов детального анализа следует проводить специальные обходы с целью сбора дополнительной информации. В частности, следует учитывать следующие аспекты:

- a) наличие барьеров для защиты от затопления, меры физического разнесения и разделения, а также другие средства защиты от затопления внутри зоны затопления;
- b) расположение учитываемых КСЭ;
- c) расположение и эффективность барьеров для защиты от затопления;
- d) динамику развития сценария затопления (например, скорость изменения уровня затопления);
- e) формы воздействия затопления, такие как погружение, влажность, температура, давление, брызги, пар, биение трубы или ударное воздействие струи.

7.99. Все события, вызванные затоплением, которые могут внести вклад в повреждение активной зоны и/или топлива, следует проанализировать с точки зрения способа их обнаружения и контроля. Способ обнаружения и контроля следует затем учитывать при оценке вероятности того, что они не будут обнаружены и изолированы.

7.100. Для оценки действий персонала, направленных на снижение вероятности повреждения оборудования и распространения затопления, а также для оценки воздействия затопления на КСЭ следует применять более реалистичные модели.

7.101. Следует оценивать воздействие затопления на работоспособность персонала, в частности следующие аспекты:

- a) возможность доступа в зоны станции, в которых эксплуатационному персоналу необходимо принимать меры для обеспечения выполнения требуемых функций безопасности после начала затопления;
- b) повышенный уровень стресса;
- c) отсутствие индикации или ложную индикацию приборов;
- d) другие формы воздействия затопления на поведение эксплуатационного персонала.

Анализ сочетаний опасностей

7.102. Следует оценивать потенциал возникновения сочетаний внутреннего затопления с другими опасностями во всех трех видах сочетаний, упомянутых в пункте 6.12 (согласно определению в SSG-64 [6]). Сочетания опасностей, включающие внутреннее затопление как следствие других опасностей, следует рассматривать в ВАБ уровня 1 для этих опасностей, в то время как сочетания опасностей, включающие внутреннее затопление с другими логически вытекающими из него опасностями, следует рассматривать в ВАБ уровня 1 для внутреннего затопления. При комбинациях, в которых внутреннее затопление коррелируется с другими опасностями в силу общей причины, и при сочетаниях внутреннего затопления с несвязанными опасностями (возникающими одновременно, но независимо), которые не были исключены в результате скрининга, аналитикам следует определиться с тем, в каком из ВАБ уровня 1 будут учитываться эти комбинированные опасности — для внутреннего затопления или для одной из других опасностей.

7.103. Качественный анализ внутренних затоплений, вызванных другими видами опасных воздействий (например, сейсмической активностью, внешним наводнением, крушением самолета, внутренним пожаром), следует выполнять в рамках анализов, выполняемых для соответствующего исходного события (см. раздел 6). Следует анализировать зоны затопления, где совокупное воздействие других опасностей и затопления может быть значимым с точки зрения безопасности. К примерам рассматриваемых воздействий относятся источники затопления, вызванного опасными воздействиями, и трудности с выполнением ручных операций по защите от затопления (рекомендации по выполнению ВАБ уровня 1 для внешних опасностей см. в разделе 8). Кроме того, затопления, возникшие в результате

выброса большого объема воды при срабатывании системы пожаротушения, следует рассматривать в контексте ВАБ уровня 1 для внутреннего пожара (см. пункт 7.62).

Количественная оценка риска внутреннего затопления

7.104. В полную модель ВАБ уровня 1 следует включать конкретные модели, разработанные для проводимого в рамках ВАБ уровня 1 детального анализа внутреннего затопления (например, модель для оценки воздействия ложных срабатываний компонентов вследствие затопления).

7.105. С учетом результатов детального анализа следует выполнить окончательную количественную оценку вклада внутреннего затопления в частоту повреждения активной зоны и/или топлива для зон затопления, оставшихся после скрининга. Результаты и модель, используемые для количественного скрининга зон затопления по частоте, следует включать в ВАБ уровня 1 для внутреннего затопления. Результаты ВАБ уровня 1 для внутреннего затопления следует интерпретировать путем выявления основных вкладчиков в частоту повреждения активной зоны и/или топлива (например, зон затопления, сценариев затопления, соответствующих действий персонала). На этом заключительном этапе следует проанализировать допущения, сделанные при скрининге, с целью оценки влияния скрининга на частоту повреждения активной зоны и/или топлива.

7.106. При количественной оценке модели ВАБ уровня 1 для внутреннего затопления, анализе неопределенностей, анализе значимости и анализе чувствительности следует руководствоваться рекомендациями, представленными в разделе 5. Анализ неопределенностей следует выполнять с целью выявления и оценки источников неопределенности. С целью определения элементов ВАБ уровня 1 для внутреннего затопления, значимых с точки зрения риска, следует провести исследования чувствительности и анализ значимости. Исследования чувствительности следует также проводить в отношении важных допущений и данных. Следует определять относительную важность различных факторов, влияющих на результаты расчета.

Документация ВАБ уровня 1 для внутреннего затопления

7.107. В соответствии с требованием 20 GSR Part 4 (Rev. 1) [3] документацию ВАБ уровня 1 для внутреннего затопления следует составлять таким образом, чтобы это облегчало его рассмотрение, применение и актуализацию. В документацию следует включать следующую информацию:

- a) описание мер по защите от затопления на конкретной станции, включая пассивные и активные средства смягчения последствий затопления, а также разделение станции на зоны затопления;
- b) описание конкретных методов и данных, используемых для оценки опасности внутреннего затопления;
- c) описание изменений, внесенных в модель ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий с целью учета последствий внутреннего затопления;
- d) обоснование исключения из анализа конкретных сценариев затопления и зон затопления;
- e) результаты анализа сценариев затопления, включая детальный анализ;
- f) описание допущений, сделанных в ходе анализа затопления;
- g) окончательные результаты ВАБ уровня 1 для внутреннего затопления с точки зрения частоты повреждения активной зоны и/или топлива, качественных выводов и рекомендаций;
- h) отчет об обходе станции для нужд анализа опасности затопления.

АНАЛИЗ ДРУГИХ ВНУТРЕННИХ ОПАСНОСТЕЙ

Анализ обрушения конструкций и падения тяжелых грузов

7.108. Предметом ВАБ обычно является отказ систем охлаждения активной зоны внутри корпуса реактора или топлива, хранящегося в бассейне выдержки отработавшего топлива. Однако может иметь место и другое, более прямое повреждение, например при падении тяжелых грузов на корпус реактора, в бассейн выдержки или на системы, выполняющие критически важные функции безопасности. Потенциальное обрушение конструкций и падение предметов, в частности падение тяжелых грузов (например, купола гермооболочки, крышки корпуса реактора, контейнера для отработавшего топлива, бетонных блоков биологической защиты) следует анализировать

с точки зрения возможности причинения повреждений КСЭ, важным для безопасности, или с точки зрения возможности непосредственного механического повреждения тепловыделяющих сборок.

7.109. Если путь, по которому перевозится груз, находится не выше уровня тепловыделяющих элементов и не выше зон, содержащих важные для безопасности КСЭ, то некоторые исходные события, вызывающие обрушение конструкций или падение тяжелых грузов, могут быть исключены из анализа.

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

7.111. ВАБ уровня 1 для обрушения конструкций или падения тяжелых грузов следует увязывать с моделью ответной реакции станции, разработанной в рамках ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий (см. пункт 9.12).

7.112. Следует принимать во внимание все стационарное грузоподъемное оборудование станции. Следует определять и подробно исследовать зоны, где обрушение конструкций или падение груза может негативно повлиять на КСЭ, важные для безопасности. Для этой цели следует выполнить обход станции.

7.113. Следует идентифицировать и проанализировать погрузочно-разгрузочные работы на основе рабочих регламентов во время останова.

7.114. Частоты исходных событий следует рассчитывать в соответствии с рекомендациями, представленными в разделах 5 и 9. При расчетах следует учитывать отказы механического оборудования, ошибки персонала и возможную неготовность функций автоматической защиты.

7.115. Для сочетаний случаев обрушения конструкций или падения тяжелых грузов с другими опасностями следует учитывать следующие факторы, влияющие на работоспособность эксплуатационного персонала:

- a) доступность зон на станции, в которых персоналу необходимо принять меры для обеспечения выполнения требуемых функций безопасности после обрушения конструкций или падения тяжелого груза;
- b) повышенный уровень стресса;
- c) отсутствие индикации или ложную индикацию приборов;
- d) ложное срабатывание КСЭ, важных для безопасности;
- e) комбинированные формы воздействия обрушения конструкций или падения тяжелых грузов на поведение эксплуатационного персонала.

7.116. Для каждого случая падения тяжелого груза следует сделать консервативное допущение о падении максимального груза и при необходимости проанализировать характер упавшего предмета и причину его падения. Следует охарактеризовать возможное направление движения, размер, форму и энергию любого обломка или обломков, отлетевших при падении груза, и оценить их воздействие на конструкцию здания и на станцию.

7.117. Если предусмотрено выполнение ВАБ уровня 2, то следует рассмотреть каждый случай обрушения конструкций или падения тяжелого груза с целью определения потенциальных радиологических последствий состояния повреждения станции и его вклада в частоту (если это применимо).

Анализ случаев возникновения летящих обломков турбины

7.118. Возможное возникновение летящих обломков в результате разрушения турбины следует анализировать с точки зрения потенциального вклада в риск. В рассмотрение случаев разрушения турбины следует включать повреждение учитываемых КСЭ летящими обломками турбины и влияние вторичных эффектов, вызванных летящими обломками турбины. К числу вторичных эффектов, вызванных летящими обломками турбины, могут быть отнесены потенциальные пожары (например, в результате воспламенения водорода, горения масла) или затопления (например, по причине повреждения труб).

7.119. В анализ разрушения турбины следует включать значения как нормальной, так и повышенной скорости.

7.120. Следует определить и охарактеризовать потенциальные сценарии разрушения турбины (например, распределение летящих обломков после разрушения турбины с учетом ориентации и местоположения турбины). Для каждого сценария разрушения турбины следует сделать консервативное допущение о наихудшей конфигурации и условиях для возникновения летящих обломков. Следует охарактеризовать возможное направление движения, размер, форму и энергию летящего обломка или обломков и оценить их воздействие на конструкцию здания и на станцию.

7.121. Следует определить вероятность результирующих отказов КСЭ, важных для безопасности, внутри зданий, принимая во внимание долю обломков с достаточной кинетической энергией для того, чтобы попасть внутрь здания.

7.122. На первом этапе следует рассматривать только оборудование, учитываемое в аварийных последовательностях, определенных ранее в ВАБ уровня 1.

7.123. Значения вероятностей отказов в результате воздействия летящих предметов, наряду с вероятностями случайных отказов неповрежденных КСЭ, важных для безопасности, и частотой разрушения турбины, следует использовать для расчета частот неисправностей, приводящих к повреждению активной зоны и/или топлива.

7.124. Для подтверждения допущений, сделанных при анализе защиты КСЭ от летящих обломков турбины, следует провести обход станции.

7.125. Частоты исходных событий следует рассчитывать в соответствии с рекомендациями, представленными в разделах 5 и 9.

7.126. Для сочетаний случаев возникновения летящих обломков в результате разрушения турбины с другими опасностями следует учитывать следующие факторы, влияющие на работоспособность эксплуатационного персонала:

- a) доступность зон на станции, в которых персоналу необходимо принять меры для обеспечения выполнения требуемых функций безопасности после начала разрушения турбины;
- b) повышенный уровень стресса;
- c) отсутствие индикации или ложную индикацию приборов;
- d) ложное срабатывание КСЭ, важных для безопасности;

- е) комбинированное воздействие случаев возникновения летящих обломков в результате разрушения турбины на поведение эксплуатационного персонала.

7.127. Если предусмотрено выполнение ВАБ уровня 2, то следует рассмотреть каждый случай разрушения турбины с целью определения потенциальных радиологических последствий состояния повреждения станции и его вклада в частоту (если это применимо).

Анализ внутреннего взрыва

7.128. Общий процесс проведения ВАБ уровня 1 для внутренних опасностей следует адаптировать к ВАБ уровня 1 для внутреннего взрыва с учетом того, что атомные электростанции проектируются таким образом, чтобы свести к минимуму вероятность и последствия внутренних взрывов. В рамках ВАБ для внутреннего взрыва следует рассматривать потенциальные причины или источники взрыва, такие как места хранения водорода и высоковольтные дуговые замыкания. Анализ внутренних взрывов, вызванных внутренним пожаром или приводящих к внутреннему пожару, следует рассматривать в ВАБ уровня 1 для внутренних пожаров.

7.129. Конструкция здания атомной электростанции рассчитана на то, чтобы предотвращать взрывы и сводить к минимуму их последствия (см. SSG-64 [6]). Для нужд проектирования используется методический анализ взрывов с целью определения характеристик их потенциальных источников (например, характера и количества взрывчатых веществ, локализации), потенциального воздействия дефлаграции или детонации на станцию (например, избыточного давления, ударной нагрузки или нагрузки лобового сопротивления, огня, тепла) и особенностей их предотвращения. ВАБ уровня 1 для внутреннего взрыва следует выстраивать главным образом на информации и данных, полученных в ходе этих анализов, что даст возможность провести отсев сценариев взрыва по качественному признаку.

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

7.131. Частоту случаев взрыва следует оценивать с использованием рекомендаций, содержащихся в разделе 5. При количественной оценке следует учитывать количество взрывчатых веществ, находящихся на станции, деятельность персонала, которая может привести к взрыву, и

эффективность средств предотвращения взрывов (например, оборудования для обнаружения водорода, детекторов утечек взрывоопасных жидкостей или газов, систем вентиляции).

Анализ других вероятных внутренних опасностей

7.132. Общий процесс проведения ВАБ уровня 1 для внутренних опасностей следует адаптировать к ВАБ уровня 1 для всех остальных внутренних опасностей, оставшихся после скрининга единичных или комбинированных опасностей.

7.133. Для идентификации потенциальных источников других вероятных внутренних опасностей и в целях проверки следует провести обход станции.

8. ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ВАБ УРОВНЯ 1 ДЛЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ

ВВЕДЕНИЕ

8.1. В настоящем разделе приводятся рекомендации по выполнению требований 6–13 GSR Part 4 (Rev. 1) [3] к проведению ВАБ уровня 1 для внешних опасностей. Конкретные рекомендации приведены только для отдельных внешних опасностей из нижеследующего перечня, которые не могут быть исключены при рассмотрении конкретной площадки атомной электростанции.

- а) Внешние природные опасности:
 - i) сейсмические опасности;
 - ii) гидрологические опасности (например, внешнее наводнение);
 - iii) метеорологические опасности (например, сильные ветры, атмосферные осадки);
 - iv) опасности внеземного происхождения (например, падение метеоритов, солнечные вспышки);
 - v) биологические опасности;
 - vi) геологические опасности;
 - vii) природные пожары.

- b) Внешние антропогенные опасности:
- i) авиакатастрофы (с участием военных или гражданских судов);
 - ii) взрывные (ударные) волны за пределами площадки (возникающие на промышленных или военных объектах);
 - iii) дорожно-транспортные происшествия за пределами площадки (воздушный, железнодорожный, автомобильный, водный транспорт);
 - iv) аварии на территории промышленных хранилищ за пределами площадки;
 - v) случайные выбросы опасных веществ за пределами площадки;
 - vi) электромагнитные помехи за пределами площадки;
 - vii) техногенные пожары за пределами площадки;
 - viii) прочие аварии на военных объектах;
 - ix) прочие аварии на промышленных объектах.

8.2. Внешние опасности (см. пункты 6.1 (b), 6.9 и приложение I) следует рассматривать в рамках граничной оценки и/или детального анализа. При рассмотрении внешних опасностей в рамках ВАБ уровня 1 следует применять последовательный подход. Как правило, он предполагает выполнение следующих задач:

- a) сбор информации о станции и площадке, сопровождаемый, когда это возможно, обходами станции;
- b) определение характеристик опасностей: идентификация внешних опасностей, расчет частоты возникновения опасностей и анализ воздействия внешних опасностей;
- c) выполнение ВАБ уровня 1 для внешних опасностей на основе ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий:
 - i) определение исходных событий, вызываемых воздействием внешних опасностей;
 - ii) определение изменений, которые необходимо внести в существующие деревья событий и деревья отказов ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий;
 - iii) анализ конкретных зависимостей и отказов по общей причине;
 - iv) анализ конкретных данных;
 - v) анализ конкретных аспектов надежности персонала;
- d) качественный и/или количественный скрининг;
- e) количественная оценка вклада внешних опасностей в частоту повреждения активной зоны и/или топлива (т.е. анализ результатов, исследования чувствительности, анализ неопределенностей и значимости);

- f) документирование (с особым акцентом на использованных в процессе анализа допущениях и справочных документах, в том числе по вопросам обеспечения качества).

ГРАНИЧНАЯ ОЦЕНКА В РАМКАХ ВАБ УРОВНЯ 1 ДЛЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ

Общие аспекты

8.3. Граничная оценка выполняется с тем, чтобы сократить перечень внешних опасностей, подлежащих детальному анализу, и тем самым сфокусировать внимание на наиболее значимых с точки зрения риска аварийных сценариях. Граничную оценку следует выполнять таким образом, чтобы она давала гарантию того, что риск, связанный с определенной внешней опасностью, незначителен по сравнению с другими опасностями.

8.4. При помощи ВАБ уровня 1 для тех внешних опасностей, которые остались после проведенного скрининга, следует определить вклад таких опасностей в частоту повреждения активной зоны и/или топлива. ВАБ уровня 1 для внешних опасностей следует базировать на модели реакции станции, разработанной в ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий — как для режимов работы на номинальной мощности, так и для состояний останова. Наличие ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий является необходимым условием проведения ВАБ уровня 1 для внешних опасностей. В результате анализа опасностей могут быть выявлены новые исходные события в дополнение к тем, которые были выявлены в ходе выполнения ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий (например, выход из строя турбинного здания в результате экстремальной внешней опасности). В таких случаях следует разрабатывать и включать в ВАБ уровня 1 новые аварийные последовательности.

8.5. При анализе воздействий следует рассматривать влияние отказов компонентов, вызванных опасностями, на исходные события, включенные в ВАБ, и на связанные с ними функции безопасности, предназначенные для смягчения последствий.

8.6. 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.

8.7. Поскольку информация, полученная путем обходов станции, может иметь большое значение в контексте ВАБ уровня 1 для внешних опасностей, такие обходы следует тщательно планировать и организовывать, а их результаты документально фиксировать.

8.8. При выполнении граничной оценки следует рассматривать все потенциальные воздействия каждой не исключенной при скрининге внешней опасности на атомную электростанцию⁴³.

8.9. Следует рассчитывать совокупный вклад внешних опасностей, подлежащих граничной оценке, и сохранять его в окончательных результатах ВАБ уровня 1.

8.10. Если все воздействия опасности на станцию не исчерпываются единым сценарием, как это обычно и происходит, то следует разработать набор сценариев для конкретной внешней опасности.

8.11. При проведении граничной оценки следует также рассматривать применимые сочетания внешних опасностей, которые описаны в разделе 6.

8.12. Граничные оценки следует базировать на моделях и данных, которые являются реалистичными, но отличаются выраженным консерватизмом. Такие модели и данные включают:

- a) оценку частоты возникновения опасностей (т.е. оценки частоты превышения определенных значений интенсивности);
- b) анализ воздействия опасностей на станцию (т.е. нагрузок, связанных с опасностью);
- c) анализ реакции станции (т.е. неустойчивостей);
- d) модели и данные ВАБ уровня 1 для станции.

8.13. Следует оценить необходимость рассмотрения в рамках ВАБ уровня 1 метеорологических опасностей, перечисленных ниже.

- a) Опасности, вызванные температурой:

⁴³ Примеры категорий воздействий включают в себя потерю внешнего энергоснабжения или обесточивание электростанции; ухудшение состояния или потерю конечного поглотителя тепла; взрыв или выброс опасного материала; ухудшение состояния или изоляцию системы вентиляции станции (ввиду риска токсического воздействия).

- i) опасности в результате экстремально низких температур;
 - ii) опасности в результате экстремально высоких температур;
- b) опасности, вызванные сильным ветром:
 - i) внетропические сильные ветры (например, внетропические циклоны, грозовые ливни, линии шквала, атмосферные фронты);
 - ii) торнадо или водяные смерчи;
 - iii) сильные нисходящие ветры или кatabатические ветры;
 - iv) тропические циклоны, ураганы или тайфуны;
 - v) соляные или пыльные бури;
 - vi) ветры с солевым туманом;
 - vii) летящие предметы, вызванные сильным ветром;
- c) опасности, связанные со снегом;
- d) опасности, связанные с влажностью воздуха;
- e) молнии;
- f) град;
- g) опасности, связанные с атмосферным давлением;
- h) туман и мгла.

8.14. Следует оценить необходимость рассмотрения в рамках ВАБ уровня I гидрологических опасностей, перечисленных ниже.

- a) Опасности, связанные с высоким уровнем воды (затоплением):
 - i) скоротечные:
 - ливневой паводок в результате выпадения экстремального количества местных осадков;
 - цунами;
 - нанос льда;
 - паводок на реке в результате прорыва гидротехнических сооружений выше по течению;
 - паводок на реке в результате блокирования водного потока ниже по течению;
 - волны, возникшие в результате оползней, схода лавин или извержения вулканов;
 - сейши;
 - паводковые волны в результате вулканического таяния снега и льда;
 - ii) медленно развивающиеся:
 - штормовой нагон воды;
 - паводок на реке в результате выпадения экстремального количества осадков (например, дождя, снега) за пределами площадки станции;

- затопление в результате изменения русла реки ниже по течению;
- затопление в результате приливов и отливов или весеннего половодья;
- b) опасности, связанные с низким уровнем воды:
 - i) скоротечные:
 - паводок на реке в результате прорыва гидротехнических сооружений ниже по течению;
 - ледяной затор;
 - затопление в результате блокирования водного потока выше по течению;
 - ii) медленно развивающиеся:
 - засуха;
 - паводок на реке в результате изменения русла реки выше по течению;
 - низкий уровень моря;
- c) местное выпадение осадков (например, дождя, снега):
 - i) избыточная нагрузка на кровлю в результате местного выпадения осадков;
 - ii) местное затопление в результате местного выпадения осадков;
- d) уровень подземных вод:
 - i) высокий уровень подземных вод;
 - ii) низкий уровень подземных вод;
- e) плавающий в воде мусор небиологического происхождения.

Природные опасности

Сейсмические опасности

8.15. Во многих ВАБ уровня 1 сейсмические опасности являются важными вкладчиками в частоту повреждения активной зоны и/или топлива; таким образом, для них следует выполнить детальный анализ. Однако для того, чтобы сэкономить силы, направляемые на выполнение ВАБ уровня 1 для сейсмических опасностей, можно провести граничную оценку сейсмических опасностей определенного диапазона (например, упрощенный анализ с пессимистическими допущениями). На данном этапе следует также рассматривать вторичные последствия сейсмических опасностей (например, пожары и наводнения, вызванные сейсмическим явлением). Дополнительные рекомендации приведены в SSG-89 [7] и SSG-68 [25]; дальнейшая информация по этой теме содержится в [29, 35].

Внешние наводнения

8.16. Различные виды опасностей, связанных с наводнением, перечисленные в пункте 8.14, следует рассматривать и подвергать граничной оценке или детальному анализу, в зависимости от характеристик площадки. Следует также рассматривать применимые сочетания опасностей внешних наводнений с другими опасностями, как указано в пункте 6.3, учитывая возможные зависимости (например, высокие уровни воды, последующие прорывы плотин).

8.17. В анализ следует включать последствия ливневого дождя и других видов затопления, таких как скопление воды на крышах зданий и на низко расположенных участках станции.

Сильные ветры

8.18. Следует рассматривать и подвергать граничной оценке или детальному анализу, в зависимости от характеристик площадки, несколько видов сильного ветра, перечисленных в пункте 8.13. Следует также учитывать применимые сочетания сильных ветров с другими опасностями, как указано в пункте 6.3, учитывая возможные зависимости (например, сильные ветры и высокие уровни воды).

Другие природные опасности

8.19. При выполнении граничной оценки следует рассмотреть полный перечень потенциальных природных опасностей, помимо сейсмических, гидрологических и метеорологических опасностей. В качестве основы для идентификации опасностей следует использовать перечень природных опасностей, представленный в приложении I, и перечень природных опасностей, рассматриваемых в отчетах по обоснованию безопасности станции. В надлежащих случаях следует также рассматривать природные опасности, свойственные для конкретной площадки.

8.20. Следует учитывать применимые сочетания природных опасностей с другими опасностями, принимая во внимание возможные зависимости (например, суровые погодные условия, дорожно-транспортные происшествия, внутренние пожары).

Антропогенные опасности

8.21. Следует оценить необходимость рассмотрения в рамках ВАБ уровня 1 антропогенных опасностей, перечисленных ниже.

- a) Механические воздействия в результате:
 - i) дорожно-транспортных происшествий с гражданским и военным транспортом, включая крушения самолетов и аварии воздушного, железнодорожного, автомобильного и водного транспорта;
 - ii) промышленных аварий;
 - iii) аварий на военных объектах;
- b) антропогенные пожары в результате:
 - i) дорожно-транспортных происшествий;
 - ii) промышленных аварий;
 - iii) аварий на военных объектах;
- c) взрывы (ударные волны) в результате:
 - i) дорожно-транспортных происшествий;
 - ii) промышленных аварий;
 - iii) аварий на военных объектах;
- d) выбросы опасных веществ (например, удушающих, горючих, коррозионно-активных, взрывоопасных, токсичных или радиоактивных материалов) в результате:
 - i) дорожно-транспортных происшествий;
 - ii) промышленных аварий;
 - iii) аварий на военных объектах;
 - iv) аварий на трубопроводах;
- e) другие опасности:
 - i) выемка грунта или строительные работы за пределами площадки станции;
 - ii) нестабильность энергосети;
 - iii) промышленные примеси в высоковольтной изоляции;
 - iv) электромагнитные помехи;
 - v) осадка грунта в результате антропогенных явлений.

8.22. Следует учитывать как минимум следующие источники антропогенных опасностей:

- a) распространение пожара с близлежащих объектов или вследствие дорожно-транспортного происшествия или аварии на трубопроводе;

- b) взрывы твердых веществ или газовых облаков на близлежащих объектах вследствие дорожно-транспортного происшествия или аварии на трубопроводе;
- c) выбросы химических веществ с близлежащих объектов или вследствие дорожно-транспортного происшествия или аварии на трубопроводе;
- d) крушения самолетов;
- e) столкновения морских судов с водозаборными сооружениями.

В качестве антропогенных опасностей могут быть также рассмотрены следующие источники:

- a) электромагнитные помехи от источников, находящихся за пределами площадки станции (таких как радиопередатчики, военные радары, ускорители частиц, высоковольтные линии электропередачи, сети телефонной связи);
- b) выемка грунта за пределами площадки станции.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ

Общие аспекты

8.23. Следует задать наиболее важные параметры, относящиеся к потенциальному ущербу от внешних опасностей. Если потенциальный ущерб от опасности не может быть охарактеризован одним параметром, следует задать несколько параметров.

Природные опасности

Сейсмические опасности

8.24. Сейсмические опасности характеризуются следующими основными параметрами (см. SSG-89 [7] и [29]):

- a) максимальными колебаниями грунта (например, ускорением, скоростью, смещением);
- b) частотным и/или энергетическим составом, который обычно выражается спектральными ускорениями, связанными со спектром отклика грунта, но также может включать другие показатели интенсивности.

8.25. Вибрационное колебание грунта, вызванное землетрясением, не следует исключать из рассмотрения, поскольку сейсмические волны могут достичь любой точки на земной поверхности.

8.26. Не следует исключать колебание грунта при землетрясении.

Внешние наводнения

8.27. Потенциальный ущерб от внешних наводнений может быть охарактеризован расходом, скоростью, уровнем воды, продолжительностью и ролью волнового воздействия. Некоторые или все эти параметры следует оценивать для определения характеристик внешних наводнений (см. SSG-18 [28]). Для наводнений обычно используются следующие параметры:

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

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

Сильные ветры

8.29. В зависимости от типа ветра следует учитывать разные 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) предметов, поднятых в воздух торнадо, являющихся важными параметрами для определения характеристик торнадо.

Другие природные опасности

8.30. С конкретной площадкой может быть связан широкий спектр природных опасностей. Для каждой конкретной опасности следует задавать параметры, охватывающие все потенциальные эффекты, которые относятся к данной опасности.

8.31. Параметры для каждой опасности следует отбирать таким образом, чтобы обеспечивалась возможность анализа комбинированного воздействия опасностей.

Антропогенные опасности

8.32. Параметры для каждой антропогенной опасности следует задавать исходя из тех специфических проблем, которые она создает для КСЭ, важных для безопасности, например:

- a) для многих видов опасностей, связанных с перевозкой, реальную опасность представляет взрыв или выброс опасного материала. Основным параметром является количество перевозимого материала или максимальное количество, которое может содержаться в выбросе в случае аварии;
- b) для выбросов с близлежащих промышленных объектов подходящими параметрами являются характер опасного материала и максимальное количество, которое может содержаться в выбросе в случае аварии;
- c) для столкновения (например, когда баржа сталкивается с водозаборным устройством или когда самолет врежется в здание) ключевыми параметрами следует сделать те, которые определяют ударное воздействие (т.е. массу и скорость воздействующего объекта);
- d) если антропогенная опасность вызвана взрывом после прямого ударного воздействия (например, крушения самолета), ключевые параметры будут представлять собой некоторую комбинацию количества топлива на борту и массы тяжелых узлов, таких как двигатели, которые могут повредить здание;
- e) для таких опасностей, как аварии на трубопроводах, надлежащими параметрами являются объем материалов, который может быть выброшен, а также характер и давление этих материалов.

8.33. Любая антропогенная опасность может предполагать сочетание различных факторов динамического воздействия, которые необходимо учитывать. Например, крушение самолета может вызвать непосредственное

повреждение, взрыв, пожар и вибрацию. Аналогичным образом, авария на трубопроводе может привести к взрыву (импульсной нагрузке, возникающей в результате дефлаграции или детонации). При этом также могут образоваться летящие предметы, которые могут повредить различные части станции. При определении характеристик антропогенных опасностей следует учитывать все первичные и вторичные эффекты. Независимо от природы исходного события, эффект следует выражать следующими параметрами:

- a) динамическая нагрузка;
- b) тепловая нагрузка;
- c) вибрационная нагрузка;
- d) распространение токсичных газов.

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

8.35. Следует также рассмотреть применимые сочетания антропогенных опасностей с другими опасностями, как указано в пункте 6.3, приняв во внимание возможные зависимости (например, выбросы химических веществ, скорость и направление ветра).

ДЕТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ

8.36. Детальный анализ внешних опасностей следует выполнять для всех опасностей (единичных или комбинированных), для которых граничная оценка или упрощенный анализ с пессимистическими допущениями продемонстрировали, что риск данной опасности может не являться ничтожно малым.

8.37. Необходимым условием проведения детального анализа внешних опасностей является наличие модели ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий.

8.38. Детальный анализ следует основывать на реалистичных моделях и данных, включая полную модель ВАБ уровня 1, которая предоставляет возможность моделирования всех явлений, связанных с рассматриваемой внешней опасностью.

ОЦЕНКА ЧАСТОТЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ

Общие аспекты

8.39. Пункт 4.20 SSR-1 [24] гласит:

«При оценке площадок для ядерной установки должны учитываться частота возникновения и тяжесть последствий внешних природных и техногенных событий, а также возможное сочетание таких событий, которые могут повлиять на безопасность ядерной установки».

Таким образом, в результатах оценки опасностей должны фигурировать значения частоты и серьезности опасности и надлежащим образом учитываться неопределенности.

8.40. Внешние опасности характеризуются несколькими выходными параметрами, некоторые из которых могут быть вероятностно зависимыми. Для простоты кривая риска обычно описывается ограниченным количеством параметров (как правило, одним). Другие параметры, которые могут понадобиться для полного описания опасности, как правило, рассматриваются в анализе реакции и оценке неустойчивостей.

8.41. Оценку частоты превышения определенных значений интенсивности следует проводить на основе вероятностной оценки для конкретной площадки.

8.42. Следует выполнить анализ временных тенденций (например, вариации гидрологических или метеорологических параметров во времени по причине изменения климата), чтобы убедиться в отсутствии тенденций к росту частоты возникновения опасностей. В случае подтверждения тенденций к существенному росту частоты следует задать частоту возникновения опасностей для того, чтобы учесть изменение климата в течение рассматриваемого временного периода. Недавние кратковременные тенденции к уменьшению частоты возникновения опасностей не следует принимать в расчет, если не будет уверенности в том, что они вызваны процессами, носящими неслучайный характер⁴⁴.

⁴⁴ Например, наблюдаемое многообразие строения речного дна может быть использовано для объяснения снижения частоты аварий при перевозке.

8.43. Когда частоты опасностей устанавливаются на основе региональных или обобщенных данных, следует провести анализ для уяснения того, в какой степени эти данные применимы к конкретной площадке и не устарели ли они. Неопределенности, связанные с использованием региональных и обобщенных данных, следует отражать в наборе кривых риска, если таковые имеются.

8.44. Если для построения кривых риска предполагается использовать экспертное заключение или иные экспертные действия, то следует установить и соблюдать процедуру выполнения такого рода действий. Рекомендации по методике оценки опасностей представлены в SSG-79 [26], SSG-9 (Rev. 1) [27], SSG-18 [28] и публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-21, «Учет вулканических опасностей при оценке площадок для ядерных установок» [36].

Природные опасности

Сейсмические опасности

8.45. Частоту возникновения колебаний грунта в результате землетрясений на площадке следует определять на основе вероятностного анализа сейсмических опасностей для конкретной площадки (см. SSG-89 [7] и [29, 35]).

8.46. Вероятностный анализ сейсмических опасностей следует выполнять в соответствии с рекомендациями, приведенными в SSG-9 (Rev. 1) [27].

8.47. Для точной оценки сейсмического риска следует обеспечить, чтобы диапазон параметров, используемых для описания сейсмических опасностей, охватывал интересующий диапазон ускорений (например, от точки «без повреждений» до точки «предел скрининга»).

8.48. Для нижнего граничного значения параметра, используемого в анализе опасности, следует показать, что сейсмические события с любым более низким значением параметра могут вызвать лишь незначительные повреждения КСЭ, включая те из них, которые находятся за пределами площадки, такие как линии электропередач и трубопроводы для транспортировки опасных материалов.

Внешние наводнения

8.49. Расчет частоты внешних наводнений и их последствий для площадки следует базировать на вероятностном анализе, отражающем самую последнюю информацию по конкретной площадке. Если информация по площадке имеется лишь за короткий промежуток времени, следует использовать региональную информацию о наводнениях с подтверждением применимости такой информации (т.е. для подтверждения применимости региональных данных к площадке можно использовать корреляционный анализ).

8.50. Анализ опасности внешних наводнений следует выполнять в соответствии с рекомендациями, приведенными в SSG-18 [28]

8.51. Следует надлежащим образом учитывать неопределенности в моделях и значениях параметров и в полном объеме экстраполировать их с целью получения набора кривых риска, из которых можно будет вывести среднюю кривую риска. В анализ частот и последствий экстремальных паводков следует включать наводнения, вызванные единичными или каскадными прорывами плотин.

8.52. Расчет частоты и последствий экстремальных наводнений на побережье океана следует основывать на вероятностном анализе, отражающем самую последнюю информацию по конкретной площадке. Эти данные следует дополнять более долгосрочными сведениями по другим прибрежным районам, с надлежащим учетом топографии местности — как примыкающей береговой зоны, так и территорий в глубине материка. Следует всегда учитывать сочетание сильного волнения с сильными ветрами.

8.53. Расчет частоты и последствий экстремальных разливов озер следует основывать на вероятностном анализе, отражающем самую последнюю 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 следует основывать на достоверной региональной информации, подкрепленной инженерным анализом. Следует надлежащим образом учитывать неопределенности, связанные с частотой и последствиями цунами.

8.55. При оценке опасности экстремальных наводнений следует учитывать соответствующие временные тенденции (например, изменение климата).

Сильные ветры

8.56. Модель, используемую для расчета частоты и интенсивности сильных ветров, следует основывать на данных по конкретной площадке, отражающих последнюю информацию, имеющуюся по данному региону и площадке. В анализ следует включать как минимум сведения о наихудших погодных условиях, наблюдавшихся на площадке. Таким образом, оценку частоты ветров не должны определять последние краткосрочные тенденции к уменьшению частоты возникновения сильных ветров.

8.57. Анализ опасности ветров следует выполнять в соответствии с рекомендациями, приведенными в SSG-18 [28].

8.58. Для точной оценки риска, связанного с ветрами, следует обеспечить, чтобы диапазон параметров, используемых для описания ветровых опасностей, охватывал интересующий диапазон (например, от точки «без повреждений» до точки «предел скрининга»).

8.59. При оценке опасностей, связанных с сильными ветрами, следует учитывать соответствующие временные тенденции (например, обусловленные изменением климата).

8.60. Для оценки внетропических бурь и иных явлений с сильными прямыми ветрами следует использовать зарегистрированные данные о скорости ветра, относящиеся к данной площадке. При построении кривых риска для сильных ветров следует консервативным образом учитывать неопределенности, возникающие вследствие отсутствия метеостанций.

Другие природные опасности

8.61. Для оценки частоты возникновения конкретных природных опасностей следует разработать и использовать всеобъемлющую базу данных. В нее 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.

8.62. Частоту возникновения конкретных природных опасностей следует оценивать на основе как данных по конкретной площадке, так и региональных данных. При использовании региональных данных следует применять корреляционный анализ.

8.63. В определенных случаях, когда не имеется ни данных по конкретной площадке, ни региональных данных, можно использовать общемировые данные. При использовании общемировых данных следует изучить применимость этих данных к рассматриваемой площадке и документально зафиксировать все допущения, сделанные при анализе.

Антропогенные опасности

8.64. Анализ внешних опасностей антропогенного характера следует выполнять в соответствии с рекомендациями, приведенными в SSG-79 [26].

8.65. 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 реалистичной и достоверной оценки частоты возникновения опасностей:

- а) качественную и количественную информацию относительно состава опасных (например, горючих, взрывоопасных, удушающих, токсичных, коррозионно-активных) материалов, хранящихся вне площадки в пределах заранее установленного расстояния от атомной электростанции, в том числе информацию относительно:
 - i) потенциально опасных источников (в пределах заранее установленного расстояния от атомной электростанции):
 - нефтехранилищ или газохранилищ;
 - нефтепроводов или газопроводов;
 - маршрутов перевозок опасных веществ воздушным транспортом;
 - маршрутов железнодорожных перевозок опасных веществ;
 - маршрутов автомобильных перевозок опасных веществ;
 - маршрутов перевозок опасных веществ водным транспортом;
 - иных объектов;
 - ii) расстояния (в километрах) от потенциально опасных источников до следующих мест на атомной электростанции:
 - сооружений;

- зданий, в которых находится важное для безопасности оборудование;
- вентиляционных воздухозаборных устройств;
- b) данные о местонахождении военных или иных учебных полигонов, деятельность которых может повлиять на работу станции, и данные о частоте проведения учений;
- c) данные о возможности возникновения и частоте аварий и об их потенциальных последствиях (например, о взрывоопасности).

АНАЛИЗ НЕУСТОЙЧИВОСТИ КОНСТРУКЦИЙ, СИСТЕМ И ЭЛЕМЕНТОВ

Общие аспекты

8.66. Неустойчивость⁴⁵ КСЭ следует оценивать с использованием имеющейся информации по конкретной станции и в той степени, в какой это необходимо для целей анализа (т.е. граничной оценки или детального анализа) и принятых инженерных методов. В этом анализе следует учитывать результаты обходов станции.

8.67. При анализе неустойчивости не следует ограничиваться сооружениями, находящимися на площадке; в него следует включать сооружения за пределами площадки, такие как линии электропередач и трубопроводы для транспортировки опасных материалов, поскольку их отказы могут приводить к таким исходным событиям, как потеря внешнего энергоснабжения или взрыв. При низком уровне неустойчивости подобные отказы могут хорошо коррелировать между собой.

8.68. Неустойчивость следует выражать как функцию какого-либо параметра опасности. В анализ неустойчивости следует включать неопределенности базовой информации, в частности в тех случаях, когда используются иные данные, помимо данных по конкретной станции (т.е. обобщенные данные).

⁴⁵ В данном контексте неустойчивость — это условная вероятность отказа конструкции, системы или элемента при воздействии опасности с заданным исходным уровнем.

8.69. При рассмотрении сочетаний опасностей в модель ВАБ уровня 1 следует включать все относящиеся к конкретной опасности механизмы отказов, приводящие к различным видам отказа КСЭ. Если сочетания опасностей имеют разные механизмы отказов, отказы следует выражать отдельными показателями неустойчивости к опасности. Если сочетания опасностей имеют схожие механизмы отказов, следует рассматривать совокупный показатель неустойчивости.

Природные опасности

Сейсмические опасности

8.70. В исходный перечень КСЭ, подлежащих анализу на предмет сейсмической неустойчивости, следует включать КСЭ, фигурирующие в модели ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий. Этот перечень следует расширить за счет всех КСЭ и их комбинаций, которые в случае отказа могут внести вклад в частоту повреждения активной зоны и/или топлива или в частоту возникновения крупных выбросов; последнее важно с точки зрения проведения ВАБ уровня 2.

8.71. Перечень сейсмического оборудования следует дополнить всеми КСЭ, которые связаны с любой комбинированной опасностью, определяемой согласно пункту 6.12 и сохраненной в анализе. В зависимости от сохраненной в анализе комбинированной опасности сюда могут быть включены плотины, защитные стены от цунами, источники внутреннего затопления или источники внутреннего пожара, которые следует методично определить. Подробные сведения о составлении перечня сейсмического оборудования представлены в [35].

8.72. Все реалистичные виды отказа КСЭ, создающие помехи работоспособности оборудования во время землетрясения и после него, следует определять посредством изучения проектной документации станции и ее обходов. Обход позволит решить следующие задачи:

- a) выявление факторов корреляции (например, идентичного оборудования с одинаковой конфигурацией, ориентацией или креплением на одном том же уровне того же здания);
- b) изучение форм реагирования оператора на потенциальные помехи, вызванные сейсмическими явлениями;

- с) определение оборудования или конструкций, которые не включены в перечень сейсмического оборудования, но структурное повреждение которых может оказать потенциальное воздействие на находящиеся вблизи узлы, входящие в этот перечень (т.е. проблемы сейсмического взаимодействия);
- d) учет проблем возникновения пожаров и затоплений в результате сейсмического воздействия.

8.73. Неустойчивости следует оценивать для всех соответствующих видов отказа конструкций (например, сдвига, опрокидывания, осадки, чрезмерного смещения), оборудования (например, разрушения анкерной системы, соударения со смежным оборудованием или конструкциями, отказов креплений, функциональных отказов, нарушения границы давления, приводящего к затоплению и набрызгиванию) и грунта (например, разжижения, неустойчивости склонов, чрезмерной неравномерной осадки), которые считаются важными. Подробные сведения об анализе сейсмической неустойчивости представлены в [29, 35].

8.74. Взамен неустойчивости, связанной с видом отказа в результате возникновения пожара, следует использовать ограничивающую неустойчивость компонента. Для установления связи между функциональным отказом и возникновением пожара следует использовать условные вероятности возгорания. Примеры приведены в [37].

8.75. Анализ неустойчивости следует подкреплять обходом станции. Во время обхода основное внимание следует уделять анкерной системе и боковым противосейсмическим опорам.

8.76. При проведении обходов следует также уделять внимание потенциальному сейсмическому взаимодействию (например, вероятности того, что КСЭ могут упасть на узел из перечня сейсмического оборудования), в том числе потенциальным дополнительным взаимодействиям с пожаром и затоплением.

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

8.78. Если на основе обобщенных данных предполагается провести отсев КСЭ с низкой неустойчивостью, то следует доказать, что эти обобщенные данные используются консервативно и что учтены все имеющие отношение к делу особенности конкретной станции и площадки.

8.79. Сейсмические реакции КСЭ на уровне их отказов следует оценивать на основе спектров колебаний при землетрясениях для конкретной площадки, увязанных с параметром колебаний грунта (например, усредненным спектральным ускорением).

8.80. При расчете совместных распределений вероятности реакции КСЭ, расположенных в разных зданиях, следует учитывать неопределенности исходных данных о колебаниях грунта и свойств конструкций и грунта.

8.81. Для всех КСЭ, которые фигурируют в доминирующих аварийных последовательностях, следует обеспечивать, чтобы соответствующие параметры неустойчивости для конкретной площадки были выведены на основе информации по конкретной станции. Это важно для того, чтобы не допустить неточного отображения вклада сейсмических опасностей в результаты ВАБ уровня 1 и полученные на его основе заключения.

8.82. Для стационарных конструкций, стоящих не на скальной породе, необходимо провести анализ взаимодействия «конструкция — грунт», включая эффект заглубления и функцию некогерентности с колебаниями грунта. Даже для конструкций, стоящих на скальной породе, выполнение анализов взаимодействия «конструкция — грунт» с учетом некогерентности с колебаниями грунта будет полезно с точки зрения расчета реалистичной реакции на сейсмические колебания и потенциального снижения пиковых значений спектра реакций в высокочастотном диапазоне, которых можно ожидать в связи с существованием высокочастотной части однородного спектра реакций на опасности.

Внешние наводнения

8.83. Для условий, соответствующих высокому уровню воды в реке, следует проводить анализ прорывов плотин и определять частоты возникновения таких событий⁴⁶.

⁴⁶ Как правило, прорыв плотины предполагается при уровне воды в реке, превышающем проектный уровень прорыва плотины.

8.84. При оценке неустойчивости КСЭ в случае внешнего наводнения следует использовать данные по конкретной станции. В качестве важного источника информации для таких оценок следует использовать заключения, сделанные во время обходов станции. В рассмотрение следует включать все низко расположенные конструкции, в частности водозаборные сооружения и конечные поглотители тепла.

8.85. При анализе неустойчивости следует учитывать такие факторы, как погружение, влияние динамических нагрузок на КСЭ, создаваемых волнами, и разрушение фундамента (эрозию почвы). Более подробная информация об анализе неустойчивости для внешних наводнений представлена в [32].

Сильные ветры

8.86. При оценке воздействия сильных ветров следует учитывать специфические особенности внешних барьеров (т.е. стен и крыши), окружающих КСЭ, важные для безопасности, наличие любых КСЭ или их сочетаний, подверженных воздействию погодных условий, и последствия повреждений, причиненных поднятыми в воздух предметами, или другие последствия (например, повреждение конструкций, обрушение вентиляционных коробов), которые могут приводить к исходному событию или отказу учитываемой системы. Следует провести обследование зданий станции и прилегающих территорий с целью оценки количества и типов объектов, которые могут быть подняты в воздух сильными ветрами и превратиться в летящие предметы. Следует также на основе современных методологий определить вероятности ударов летящими предметами.

8.87. Следует провести оценку с целью реалистичного определения характерных для конкретной станции неустойчивостей под воздействием сильных ветров тех КСЭ или их сочетаний, отказы которых могут приводить к исходному событию.

8.88. При оценке связанных с воздействием ветра неустойчивостей КСЭ следует использовать данные по конкретной станции (например, анкерное крепление оборудования на случай сильного ветра, установка барьеров, защищающих от летящих предметов). При оценке следует учитывать все конструкции, которые могут провалиться внутрь конструкций, важных для безопасности, или упасть на них и тем самым вызвать повреждение. При таких оценках в качестве важного источника информации следует

использовать заключения, сделанные во время обходов станции (например, для обоснования тех или иных параметров моделирования с целью анализа неустойчивости).

8.89. Следует построить и описать в терминах медианной скорости ветра и характеристик неопределенностей (например, логарифмических стандартных отклонений) семейство кривых неустойчивости, соответствующих конкретному виду отказа для каждой КСЭ и представляющих степень случайности и неопределенность медианных значений параметров устойчивости КСЭ. Более подробная информация об анализе неустойчивости для сильных ветров представлена в [32].

Другие природные опасности

8.90. В зависимости от обстоятельств в отношении других природных опасностей следует выполнять общие положения и рекомендации по проведению анализа неустойчивости при воздействии сейсмических, гидрологических и метеорологических опасностей.

Антропогенные опасности

8.91. В зависимости от обстоятельств в отношении антропогенных опасностей следует выполнять общие положения и рекомендации по проведению анализа неустойчивости КСЭ при воздействии природных опасностей. Более подробная информация об анализе неустойчивости и анализе параметров устойчивости в отношении крушения самолетов, взрывов и выбросов опасных веществ представлена в [32].

ВКЛЮЧЕНИЕ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ В МОДЕЛЬ ВАБ УРОВНЯ 1

Общие аспекты

8.92. Модель ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий почти всегда используется в качестве основы для модели ВАБ уровня 1 для внешних опасностей. Для получения модели ВАБ уровня 1 для внешних опасностей модель ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий следует адаптировать путем включения в нее аспектов, отличающихся в силу воздействия внешних опасностей. Основные воздействия опасностей, которые могут привести к различным классам внутренних

исходных событий (например, к крупной аварии с потерей теплоносителя, незначительной аварии с потерей теплоносителя, переходному режиму) или которые могут напрямую приводить к повреждению активной зоны и/или топлива, следует оценивать при выборе соответствующего дерева событий из модели ВАБ для внутренних исходных событий (например, путем использования дерева опасных событий). В приложении II приведен пример дерева сейсмических событий для сейсмических опасностей. В модель ВАБ уровня 1 для внешних опасностей следует включить соответствующие кривые риска для КСЭ, важных для безопасности, и показатели их неустойчивости. В модели ВАБ уровня 1 для внешних опасностей следует учитывать все важные зависимости, корреляции и неопределенности, связанные с конкретной опасностью.

8.93. Для оценки воздействия внешних опасностей на учитываемые восстановительные работы и действия персонала, смоделированные в ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий, следует пересмотреть вероятность ошибок персонала при выполнении восстановительных действий и работ после останова реактора.

8.94. При оценке событий, связанных с ошибками персонала типа С, для внешних опасностей следует принять во внимание указанные ниже аспекты.

- а) События, вызванные ошибками персонала, которые включены в ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий, но которые также имеют отношение к сценариям внешних опасностей⁴⁷. В таких случаях может возникнуть необходимость в переоценке факторов, влияющих на работоспособность персонала, поскольку эксплуатационному персоналу может оказаться труднее выполнять свои действия, чем при базовом сценарии (например, вследствие повышенного уровня стресса, связанного с опасностью).
- б) События, вызванные ошибками персонала, которые имеют отношение только к конкретной внешней опасности (например, связанные со сбросом реле после сейсмических событий). В таких случаях методы,

⁴⁷ В контексте внешних опасностей особую важность могут иметь события, связанные с ошибками персонала при применении портативного оборудования. Как указано в пункте 5.110, существующие методы анализа надежности действий персонала нуждаются в адаптации и дополнении с учетом конкретных условий, в которых применяется портативное оборудование. Дальнейшую информацию об анализе надежности персонала при применении портативного оборудования можно найти в [17].

используемые для оценки событий, вызванных ошибками персонала, характерными для внешних опасностей, могут, как правило, строиться на тех же принципах, что и методы, используемые при анализе других типов событий, вызванных ошибками персонала.

- с) Нежелательные меры, принимаемые эксплуатационным персоналом в ответ на ложное срабатывание сигнализации и ложную индикацию приборов.

8.95. В модели ВАБ уровня 1 для внешних опасностей следует отражать условия на станции на момент строительства и на момент эксплуатации.

Природные опасности

Сейсмические опасности

8.96. Модель ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий следует адаптировать, включив в нее особые сейсмические аспекты, которые отличаются от соответствующих аспектов модели ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий. Рекомендации по включению сейсмических событий в модель ВАБ приведены в SSG-68 [25], а подробная информация содержится в [35].

8.97. На многих станциях ручной останов станции инициируется при сейсмической опасности, превышающей определенную магнитуду (например, 50% магнитуды проектного землетрясения). В модели ВАБ уровня 1 для сейсмических опасностей следует отражать этот момент даже в тех случаях, когда система преобразования энергии обладает высокой сейсмостойкостью и когда можно избежать автоматического аварийного останова реактора.

8.98. В модель ВАБ уровня 1 для сейсмических опасностей следует включать все важные исходные события сейсмического происхождения, которые могут привести к повреждению активной зоны и/или топлива. В частности, следует моделировать исходные события, приводящие к сценариям следующих типов:

- а) отказы крупногабаритных компонентов (например, корпуса реактора, парогенераторов, компенсатора давления) и разрушение конструкций на площадке (например, защитных дамб);

- b) аварии с потерей теплоносителя различного масштаба и в различных местах. В качестве дополнительного вида отказа в модели ВАБ уровня 1 следует рассматривать также аварии сейсмического происхождения с незначительной потерей теплоносителя, вызванные разрывами в малых линиях (например, в импульсных линиях);
- c) отказ внешнего электроснабжения;
- d) переходные режимы (с отказом системы преобразования энергии и без такового), в том числе потерю различных обеспечивающих систем;
- e) падение тяжелых грузов (например, крана кругового действия).

8.99. К уже имеющимся моделям ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий следует добавить модели особых аварийных последовательностей, если исходные события сейсмического происхождения приводят к особым аварийным сценариям, не учтенным в модели ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий. Модель ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий следует расширить с целью включения в ВАБ уровня 1 сейсмических опасностей, с тем чтобы учитывать отказы более широкого круга компонентов или такие виды отказа компонентов, как отказ пассивных компонентов (например, конструкций, зданий, распределительных систем, кабельных лотков, дрожание контактов реле). Следует рассматривать воздействие на внутрикорпусные устройства реактора, в частности застревание регулирующего стержня в результате воздействия сейсмического события на активную зону реактора.

8.100. В модель ВАБ уровня 1 для сейсмических опасностей следует включить все КСЭ, смоделированные в ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий, и те КСЭ, для которых вызванное сейсмическим воздействием повреждение может повлиять на аварийные последовательности.

8.101. В модель ВАБ уровня 1 для сейсмических опасностей следует включить все не связанные с сейсмическим воздействием отказы, неготовности КСЭ и ошибки персонала, которые могут внести существенный вклад в частоту повреждения активной зоны и/или топлива.

8.102. В модели для случаев повреждения КСЭ, вызванных сейсмическим воздействием, следует скрупулезно учитывать все зависимые отказы оборудования, расположенного в здании, после повреждения данного здания при сейсмическом воздействии. Если зависимости такого рода предполагается исключить из модели или если их значимость для модели предполагается снизить, это следует обосновать.

8.103. Оценку сейсмической опасности, показатели сейсмической неустойчивости, зависимости и сейсмические корреляции между КСЭ, отказы, не вызванные сейсмическим воздействием, неготовность КСЭ и ошибки персонала следует соответствующим образом интегрировать в модель ВАБ уровня 1 для сейсмических опасностей.

8.104. Следует провести тщательную проверку и связанную с ней корректировку в отношении восстановительных действий и вероятностей ошибок персонала. Восстановительные действия, которые не могут быть выполнены из-за воздействия сейсмических событий определенной магнитуды, следует исключить из модели ВАБ уровня 1; в противном случае следует увеличить вероятности отказов при выполнении таких действий. Все последующие ошибки персонала, которые могут возникать при реагировании на исходное событие, как это смоделировано в ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий, следует пересматривать и корректировать применительно к конкретным сейсмическим условиям. Следует принимать во внимание как минимум следующие сейсмические воздействия на факторы, влияющие на работоспособность эксплуатационного персонала:

- a) доступность мест на станции, где персоналу необходимо осуществлять действия для обеспечения выполнения требуемых функций безопасности или действия, направленные на спасение людей;
- b) повышенный уровень стресса;
- c) отсутствие индикации или ложную индикацию приборов;
- d) отказы систем связи;
- e) другие применимые факторы, влияющие на поведение эксплуатационного персонала.

8.105. При количественной оценке частоты повреждения активной зоны и/или топлива следует располагать, помимо сводных результатов, ключевой информацией по каждой аварийной последовательности и минимальному сечению, полученной в результате количественной оценки модели.

8.106. Интеграцию и количественную оценку модели ВАБ уровня 1 для сейсмических опасностей следует выполнять таким образом, чтобы неопределенности, связанные с каждым видом сейсмических данных, вводимых в модель ВАБ уровня 1 (т.е. частотами возникновения сейсмических опасностей, сейсмической неустойчивостью, зависимостями и аспектами, относящимися к анализу систем), надлежащим образом

экстраполировались на всю модель для получения точных характеристик неопределенности в расчете частоты повреждения активной зоны и/или топлива.

Внешние наводнения

8.107. При рассмотрении аварийных последовательностей, вызванных внешними наводнениями, следует учитывать кривые риска для конкретной площадки, а также неустойчивости всех КСЭ, повреждение которых может приводить к выходу из строя оборудования, моделируемого в ВАБ уровня 1. В число других рассматриваемых факторов следует включить неготовность или отказ оборудования, а также ошибки персонала, не связанные с внешними наводнениями. Вероятности ошибок персонала следует скорректировать с учетом воздействия наводнений на факторы, влияющие на работоспособность персонала (в частности, доступность оборудования), о чем говорилось в пункте 8.94.

8.108. При разработке моделей аварийных последовательностей для исходных событий, вызванных внешними наводнениями, следует в полной мере учитывать неопределенности, зависимости и корреляции⁴⁸.

Сильные ветры

8.109. В модель ВАБ уровня 1 следует включать все исходные события, вызванные сильными ветрами, и она должна быть настолько полной, насколько это необходимо для моделирования всех связанных с ветрами эффектов.

8.110. При рассмотрении аварийных последовательностей, вызванных сильными ветрами, следует учитывать кривые риска для конкретной площадки, а также неустойчивость всех конструкций, повреждение которых может приводить к выходу из строя оборудования, моделируемого в ВАБ уровня 1. В число других рассматриваемых факторов следует включить неготовность или отказ оборудования, а также ошибки персонала, не

⁴⁸ Корреляции могут возникать, например, в сценариях внешнего наводнения, в которых несколько каналов могут быть повреждены в результате движения воды по разным путям, что может подразумевать разные динамические характеристики, касающиеся накопления и распространения воды. В таких сценариях не всегда возможно постулировать полную корреляцию отказов разных каналов, вызванных внешним наводнением.

связанные с сильными ветрами. Вероятности ошибок персонала следует скорректировать с учетом воздействия сильных ветров на факторы, влияющие на работоспособность персонала, о чем говорилось в пункте 8.94.

Другие природные опасности

8.111. В отношении других природных опасностей следует выполнять общие положения и рекомендации по интеграции в модель сейсмических, гидрологических и метеорологических опасностей.

Антропогенные опасности

8.112. Следует выполнять общие положения и рекомендации по интеграции в модель природных внешних опасностей.

ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Общие аспекты

8.113. В целях выполнения требования 20 GSR Part 4 (Rev. 1) [3] скрининговый анализ, граничную оценку и детальный анализ в рамках ВАБ уровня 1 для внешних опасностей следует документировать так, как описано ниже, чтобы это облегчало их экспертную оценку, а также будущую актуализацию и применение ВАБ уровня 1.

- a) Скрининг каждой конкретной внешней опасности следует документировать таким образом, чтобы были описаны используемые процессы и методы, а также сделанные допущения и основания для них.
- b) Следует давать описание методов, используемых при построении кривых риска для каждой внешней опасности, включая следующее:
 - i) данные, использованные для построения кривых риска;
 - ii) технические интерпретации, являющиеся основой для исходных данных и результатов;
 - iii) основные допущения и связанные с ними неопределенности.
- c) Следует предоставить подробный перечень КСЭ, подлежащих анализу на предмет неустойчивости, наряду со сведениями о:
 - i) местоположении каждой КСЭ;
 - ii) основных допущениях и методах, используемых для анализа неустойчивости;

- iii) преобладающих видах отказа для каждой КСЭ;
- iv) источниках информации для анализа.
- d) Следует также обсудить КСЭ, которые не подлежат анализу на предмет неустойчивости, и обосновать их исключение из модели ВАБ уровня 1.
- e) Следует тщательно задокументировать случаи специальной адаптации модели ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий с указанием причин каждой такой адаптации.
- f) Следует задокументировать конечные результаты граничной оценки и детального анализа в виде частоты повреждения активной зоны и/или топлива, значимых минимальных сечений и значимых аварийных последовательностей для каждого сценария, связанного с внешними опасностями. Следует также выполнить общие рекомендации по документированию, представленные в пунктах 3.17–3.25.

8.114. Следует представить следующие основные результаты ВАБ уровня 1 для внешних опасностей:

- a) частоты повреждения активной зоны и/или топлива и распределение неопределенностей для них;
- b) результаты исследований чувствительности;
- c) перечни значимых аварийных последовательностей и значимых минимальных сечений;
- d) рассмотрение технических оснований для значимых последовательностей и значимых минимальных сечений;
- e) описание основных факторов, влияющих на неопределенности. Следует рассмотреть факторы, влияющие на неопределенности гносеологического и стохастического характера.

Природные опасности

Сейсмические опасности

8.115. Следует дать описание конкретных методов, используемых для определения характеристик сейсмических источников и выбранных параметров. В частности, следует тщательно задокументировать конкретные интерпретации, являющиеся основой для моделирования исходных данных и результатов.

8.116. Документацию ВАБ уровня 1 для сейсмических опасностей следует составлять таким образом, чтобы это облегчало его рассмотрение, применение и актуализацию. В частности, в документацию следует включать следующую информацию:

- a) перечень КСЭ, рассматриваемых в ВАБ уровня 1 для сейсмических опасностей;
- b) описание характеристик неустойчивости и соответствующие технические основы для каждой КСЭ;
- c) количественно оцененные вероятности повреждения для диапазона сейсмических опасностей, моделируемых в ВАБ уровня 1;
- d) значимые виды отказа КСЭ и место расположения каждой КСЭ;
- e) специальные адаптации модели ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий, осуществленные с целью учета влияния сейсмических событий;
- f) полную информацию о зависимостях (в частности, о пространственных взаимодействиях), моделируемых в ВАБ уровня 1 для сейсмических событий, а также все допущения, сделанные с целью исключения или уменьшения влияния зависимостей.

8.117. Следует полностью разъяснять основания для исключения из рассмотрения любой КСЭ.

8.118. Следует документировать методологию и процедуры, используемые для количественной оценки сейсмических неустойчивостей. При этом следует учитывать нижеперечисленные аспекты анализа сейсмической неустойчивости:

- a) анализ сейсмической реакции;
- b) этапы скрининга;
- c) обход станции;
- d) изучение проектных документов;
- e) идентификация критических важных видов отказа каждой КСЭ;
- f) расчеты неустойчивости для каждой КСЭ.

8.119. Следует полностью документировать процедуры обхода станции, состав групп, выполняющих обходы, а также наблюдения и выводы, сделанные после обходов.

Внешние наводнения

8.120. ВАБ уровня 1 для внешних наводнений следует документировать таким образом, чтобы это облегчало его рассмотрение, применение и актуализацию. В частности, в документацию следует включать следующую информацию:

- a) описание конкретных методов и данных, использованных для построения кривых риска для внешних наводнений;
- b) описание изменений, внесенных в модель ВАБ уровня 1 с целью учета воздействия внешних наводнений;
- c) перечень всех КСЭ, рассмотренных в анализе, вместе с обоснованием причин исключения для тех КСЭ, которые были исключены из анализа;
- d) методологию и данные, использованные для определения показателей неустойчивости к воздействию внешних наводнений всех КСЭ, моделируемых в ВАБ уровня 1;
- e) конечные результаты ВАБ уровня 1, выраженные в виде частоты повреждения активной зоны и/или топлива, а также отдельные результаты, представляющие ценность.

Сильные ветры

8.121. ВАБ уровня 1 для сильных ветров следует документировать таким образом, чтобы это облегчало его рассмотрение, применение и актуализацию. В частности, в документацию следует включать следующую информацию:

- a) описание конкретных методов и данных, использованных для построения кривых риска для сильных ветров;
- b) описание изменений, внесенных в модель ВАБ уровня 1 с целью учета воздействий сильных ветров;
- c) перечень всех КСЭ, рассмотренных в анализе, вместе с обоснованием причин исключения для тех КСЭ, которые были исключены из анализа;
- d) методология и данные, использованные для определения показателей неустойчивости к воздействию ветров всех КСЭ, моделируемых в ВАБ уровня 1;
- e) конечные результаты ВАБ уровня 1, выраженные в виде частоты повреждения активной зоны и/или топлива, а также промежуточные результаты, представляющие ценность.

Другие природные опасности

8.122. В зависимости от обстоятельств следует использовать рекомендации по документированию и представлению результатов, приведенные в пунктах 8.115–8.121.

Антропогенные опасности

8.123. В зависимости от обстоятельств следует использовать рекомендации по документированию и представлению результатов, приведенные в пунктах 8.115–8.121.

9. ВАБ УРОВНЯ 1 ДЛЯ СОСТОЯНИЙ ОСТАНОВА

ОБЩИЕ АСПЕКТЫ ВАБ УРОВНЯ 1 ДЛЯ СОСТОЯНИЙ ОСТАНОВА

9.1. В настоящем разделе приведены рекомендации по выполнению требований 6–13 GSR Part 4 (Rev. 1) [3] к проведению ВАБ уровня 1 для состояний останова⁴⁹ в отношении топлива в активной зоне реактора и в ходе операций по обращению с топливом. В разделе 10 представлены рекомендации по проведению ВАБ уровня 1 для топлива, находящегося в бассейне выдержки отработавшего топлива. В принципе в основу ВАБ уровня 1 для состояний останова при внутренних исходных событиях положена та же методология, что и в случае ВАБ уровня 1 для режимов работы на номинальной мощности, описанная в разделе 5. Поэтому структура данного раздела во многом соответствует структуре раздела 5 и общей основе анализа, представленной на рис. 1, если специфика состояний останова не требует иного. За исключением случаев, когда методы и условия состояний останова требуют специальных описаний, во избежание повторения содержания материала делаются ссылки на предыдущие разделы настоящего Руководства по безопасности. Следует отметить, однако, что целью анализа необязательно является определение частоты

⁴⁹ Для работы на сниженном уровне мощности применимы все рекомендации, приведенные в разделах 2–8, но с должным учетом возможного режима эксплуатации на сниженной мощности с иными блокировками и конфигурациями систем по сравнению с работой реактора на номинальной мощности.

повреждения активной зоны, поскольку интерес могут представлять также такие показатели риска, как частота повреждения топлива и случайное возникновение критичности.

9.2. Внутренние и внешние опасности могут иметь столь же большое значение для состояний останова, что и для режимов работы на номинальной мощности. Могут применяться те же подходы, которые описаны в разделах 6–8 настоящего Руководства по безопасности, но их следует видоизменить сообразно конкретным характеристикам состояний останова. Спектр исходных событий в принципе идентичен, но при скрининге событий может наблюдаться иная картина. Так происходит главным образом в ситуациях, когда продолжительность состояний останова намного короче, чем продолжительность работы на номинальной мощности. Очевидно, что вероятность возникновения внешней опасности во время состояний останова намного меньше. С другой стороны, последствия для состояний останова могут быть совершенно иными. Например, при обращении с тяжелым оборудованием особое внимание, вероятно, необходимо уделить сейсмическим событиям; внешние взрывы и внешние наводнения также могут вызвать иные аварийные последовательности на станции.

9.3. Во время останова на легководном реакторе обычно проводятся следующие основные работы:

- a) перевод реактора в состояние останова из режима работы на номинальной мощности;
- b) эксплуатация системы отвода остаточного тепловыделения;
- c) вскрытие корпуса реактора, заполнение водой полости реактора;
- d) перегрузка топлива;
- e) техническое обслуживание и испытания;
- f) отключение системы отвода остаточного тепловыделения и возврат к режиму работы на номинальной мощности.

Для других типов реакторов перечень работ может быть иным. Например, такие работы, как вскрытие корпуса реактора и заполнение водой полости реактора, не актуальны для реакторов канального типа. В приложении III приведены примеры схем отключения реактора с водой под давлением и кипящего реактора, а также примеры эксплуатационных состояний станций. Примеры типичных эксплуатационных состояний реакторов типа CANDU представлены в [38].

ХАРАКТЕРИСТИКА ТИПОВ ОТКЛЮЧЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СОСТОЯНИЙ СТАНЦИИ

9.4. В отличие от работы на мощности, в режимах останова рабочая конфигурация станции и условия на станции значительно изменяются. В целом существует три разных типа отключения (для станций, где перегрузка топлива осуществляется не на мощности):

- а) регулярные остановки для перегрузки топлива с частичным или полным извлечением топлива из реактора⁵⁰, в ходе которых также выполняются основные работы по техническому обслуживанию;
- б) плановые отключения, в ходе которых выполняются только специальные работы по техническому обслуживанию⁵¹;
- в) внеплановые отключения вследствие нарушения режима работы на номинальной мощности, которые происходят с дренированием корпуса реактора и перегрузкой топлива или без таковых.

Это отражено в технических характеристиках станции, которые, как правило, разделены по различным эксплуатационным состояниям станции, для каждого из которых имеются отдельные требования к работоспособности оборудования.

9.5. Проведение анализа всех типов отключения, упомянутых в пункте 9.4, считается положительной практикой. Риски, связанные с остановами для перегрузки топлива, следует оценивать в полном объеме. Важно, чтобы анализ последовательностей, возникших после нарушения режима работы на номинальной мощности, выполнялся вплоть до момента достижения безопасного стабильного состояния. Прекращение анализа по истечении времени, заранее отведенного на реализацию последовательности, может помешать получению значимых результатов. Во многих случаях в качестве первого шага проводится анализ типичного останова. Для эксплуатируемых реакторов такой останов следует определить, взяв за основу последний останов и добавив в него элементы, взятые из документации по другим недавним остановам или из обсуждений с персоналом, ответственным за их планирование. При необходимости некоторые элементы остановов,

⁵⁰ Для эксплуатационных состояний во время останова на перегрузку топлива, при которых топливо полностью перемещается в бассейн выдержки отработавшего топлива, применяются рекомендации из раздела 10.

⁵¹ Все стандартные плановые остановки и условия пуска обычно рассматриваются в рамках различных станционных конфигураций.

которые, как ожидается, могут внести вклад в риск, следует оценивать отдельно. Например, в случае останова, запланированного специально для проведения работ по техническому обслуживанию, важным подспорьем в принятии решений может стать сравнение риска, связанного с плановым останом, с риском, связанным с продолжением эксплуатации.

9.6. В анализ следует включать прогнозируемые изменения в регламентах останова, если одной из целей ВАБ является оценка рисков, связанных с будущей эксплуатацией.

9.7. В состояниях останова станция может иметь большое число разнообразных конфигураций, которые при индивидуальном рассмотрении потребуют анализа чрезмерно большого количества сценариев. Для анализа всего спектра конфигураций станции во время останова следует определить ограниченное число эксплуатационных состояний, в которых статус и конфигурация станции будут достаточно стабильными и репрезентативными.

9.8. Для того чтобы число комбинаций эксплуатационных состояний станции оставалось в пределах разумного, схожие состояния потребуется объединить в группы. При таком объединении следует учитывать следующие физические и технические аспекты функционирования станции:

- a) критичность реактора (и/или запас устойчивости);
- b) уровень остаточного тепловыделения;
- c) температуру и давление в системе теплоносителя реактора;
- d) другие важные параметры, зависящие от мощности (например, уровень в компенсаторе давления, уровень воды в первом контуре, уровень в парогенераторе);
- e) открытую или закрытую систему теплоносителя реактора;
- f) работоспособность петель в системе теплоносителя реактора;
- g) местоположение топлива;
- h) готовность учитываемых систем, в том числе обеспечивающих систем, и то, управляются ли они автоматически или вручную;
- i) системные настройки;
- j) состояние герметичности защитной оболочки.

9.9. В ВАБ уровня 1 для состояний останова эксплуатационные состояния станции следует задавать исходя из фактического опыта эксплуатации и в соответствии с текущей практикой и регламентами. В зависимости от типа отключения, выбранного на предыдущем этапе (см. пункт 9.5),

следует провести детальный анализ надлежащего количества отключений для определения фактического статуса всех интересующих параметров в любой момент времени в течение останова. Как правило, для этой цели используются следующие источники информации:

- a) регламенты останова и пуска;
- b) план проведения конкретного отключения или отключений;
- c) общая практика отключений на станции;
- d) технический регламент проведения остановов;
- e) руководства по управлению конфигурацией;
- f) другие документы, содержащие информацию об отключениях (например, журналы с данными о концентрации бора);
- g) учетная документация технического обслуживания (например, с указанием продолжительности технического обслуживания конкретных компонентов);
- h) беседы с эксплуатационным персоналом и начальниками смен;
- i) беседы со специалистами по планированию остановов.

Из таких источников следует получать и документировать всю информацию, относящуюся к описанию эксплуатационных состояний станции, особенно касающуюся готовности функций безопасности и прочих соответствующих функций. В приложении III приведен пример выбора эксплуатационных состояний станции, в котором проведено различие между 11 эксплуатационными состояниями. Однако анализ ВАБ уровня 1 для состояний останова следует проводить на основе гораздо большего числа эксплуатационных состояний станции, в зависимости от конкретной формы применения ВАБ (например, в качестве монитора риска).

9.10. Для атомных электростанций, находящихся в стадии проектирования, следует в максимально возможном объеме использовать информацию по аналогичным или референтным станциям. Для совершенно новых проектов станций следует проводить тщательную оценку времени, необходимого на выполнение различных операций при отключениях разного типа. Данную информацию следует проверять и актуализировать на этапе ввода в эксплуатацию и в течение первых лет эксплуатации станции.

9.11. Для охвата всего эксплуатационного цикла, а также для того, чтобы не упустить из виду возможных вкладчиков в риск в определенных эксплуатационных состояниях станции и не учесть их дважды, следует четко определить точки сопряжения между эксплуатационными состояниями станции (в том числе во время работы на номинальной мощности) в плане

продолжительности, уровня мощности и системной конфигурации по каждому эксплуатационному состоянию, частоты (за один календарный год) перехода станции в каждое из этих эксплуатационных состояний и исходных событий. В этих целях следует использовать данные об истории эксплуатации.

АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ СОБЫТИЙ

9.12. В принципе идентификация исходных событий проводится в соответствии с тем же подходом, который описан в пунктах 5.13–5.22. Таким образом, следует учитывать аварии с потерей теплоносителя и переходные режимы, а также исходные события, которые идентифицированы в анализах внутренних и внешних опасностей. В качестве отправной точки возможно составление обобщенного перечня на основе анализа режима работы на номинальной мощности. Данный перечень необходимо будет уточнять и расширять с учетом действий, описанных в пунктах 9.13–9.24.

9.13. В пункте 5.11 исходные события определены под углом зрения повреждения активной зоны. Как указано в пунктах 9.4–9.8, в разных состояниях останова активная зона может находиться в совершенно несхожих конфигурациях. Топливо, хранящееся в бассейне выдержки отработавшего топлива внутри или вне здания реактора, рассматривается в данном Руководстве по безопасности отдельно в рамках ВАБ для бассейна выдержки отработавшего топлива (см. раздел 10). Поэтому число исходных событий является уникальным для условий останова, и они будут отличаться от тех, которые идентифицированы в ВАБ уровня 1 для работы на номинальной мощности (примеры см. в приложении III). Кроме того, многие исходные события, связанные с работами по техническому обслуживанию или выполнением эксплуатационных регламентов, могут иметь антропогенное происхождение. Основные категории исходных событий, которые представляют интерес для ВАБ уровня 1 для состояний останова, — это события, представляющие угрозу для выполнения таких функций безопасности, как отвод тепловыделения, поддержание запаса теплоносителя в первом контуре или целостность первого контура, а также управление реактивностью. Это означает, что конечным состоянием аварийных последовательностей в рамках ВАБ уровня 1 для состояний останова может быть не только повреждение активной зоны, но и повреждение топлива вне корпуса реактора; такие конечные состояния часто называют состояниями повреждения топлива или событиями с возникновением критичности. Примеры исходных событий в ВАБ для

состояний останова на реакторах типа CANDU приведены в [38]. Следует определить, какое из этих конечных состояний необходимо включить в анализ. Данное решение должно соотноситься с вероятностными целями или критериями безопасности, которые требуется проверять, если они указаны в национальных правилах или рекомендациях. Характеристики таких конечных состояний весьма специфичны для разных типов реакторов и поэтому не могут рассматриваться здесь более подробно. В большинстве случаев в рамках ВАБ уровня 1 для состояний останова рассматриваются события, которые приводят к следующим конечным состояниям:

- a) повреждение топлива в результате потери функции охлаждения топлива;
- b) повреждение топлива при обращении с ним;
- c) повреждение топлива вследствие падения тяжелых грузов;
- d) повреждение топлива в ходе событий с возникновением критичности вследствие изменений в конфигурации топлива (часть топлива может быть отработавшим топливом).

9.14. Особое внимание следует уделить четкой идентификации исходных событий, представляющих интерес. Для дополнения обобщенного перечня, составленного в соответствии с пунктом 9.12, следует использовать методичную схему идентификации исходных событий. В дополнение к методам, рекомендованным в пунктах 5.13–5.22, следует проводить методичное изучение станционных регламентов на предмет изменения конфигурации системы теплоносителя реактора, а также регламентов испытаний и технического обслуживания оборудования. Конечные состояния аварийных последовательностей для исходных событий в состояниях останова могут отличаться от состояний повреждения активной зоны.

9.15. Одной из ключевых задач данного процесса является выявление потенциальных ошибок персонала при выполнении станционных регламентов для состояний останова при разных типах отключения, и в рамках этого процесса следует предусмотреть изучение станционных регламентов и проведение обходов станции, с тем чтобы специалисты по ВАБ могли ознакомиться с методами работы на станции.

9.16. Для обеспечения надлежащей полноты перечня исходных событий в ВАБ уровня 1, проводимом для состояний останова, в дополнение к перечню, используемому в рамках ВАБ для работы на номинальной мощности, следует обратиться к перечисленным ниже источникам информации:

- a) ВАБ уровня 1 для состояний останова по другим однотипным станциям;
- b) история эксплуатации станции;
- c) опыт эксплуатации однотипных станций;
- d) обобщенные данные по эксплуатации в состояниях останова.

Общедоступными источниками такой информации являются, в частности, обобщенные исследования (например, информация о событиях с разбавлением бора вследствие непреднамеренного нагнетания неборированной воды через активную зону), отчеты о событиях от лицензиатов и отчеты о событиях, составляемые международными организациями и группами владельцев станций.

9.17. Исходные события следует объединять в группы таким образом, чтобы анализ всех исходных событий в группе можно было проводить при помощи одной и той же модели дерева событий и дерева отказов (см. пункты 5.32–5.40). В дополнение к критериям, перечисленным в пунктах 5.32–5.40, основу для группирования исходных событий в состояниях останова составляют следующие критерии:

- a) все исходные события в группе оказывают схожее воздействие на готовность и работоспособность учитываемых КСЭ;
- b) все исходные события в группе имеют схожие критерии успеха для учитываемых систем;
- c) все исходные события в группе требуют выполнения схожих действий со стороны оператора.

Схожие исходные события могут происходить в разных эксплуатационных состояниях станции (см. приложение III), но поскольку готовность систем и критерии успеха, как правило, различаются в зависимости от состояния станции, объединение в одну группу событий, относящихся к разным эксплуатационным состояниям станции, в большинстве случаев нецелесообразно.

9.18. Характеристики группы следует определять по событиям в группе, имеющим наиболее ограничивающий характер (см. пункт 5.35).

9.19. Как и в случае ВАБ для работы на номинальной мощности, при количественной оценке частоты возникновения исходных событий следует придерживаться стандартной практики ВАБ уровня 1, которая описана в пунктах 5.149–5.152. При количественной оценке частоты возникновения исходных событий для состояний останова, однако, следует учитывать более высокую вероятность возникновения исходных событий вследствие ошибок персонала, и поэтому там, где это применимо, следует использовать также методы анализа надежности персонала. Кроме того, следует учитывать такие специфические для станции моменты, как конфигурация и готовность оборудования, технические характеристики и управление остановами, в том числе операциями по перегрузке топлива.

9.20. В ВАБ уровня 1 для состояний останова частота возникновения исходных событий может быть первоначально выражена в виде ожидаемого числа таких событий в час в конкретном эксплуатационном состоянии станции, а затем пересчитана с учетом фактической продолжительности этого состояния. Однако частоту не следует определять таким образом в случае, если исходное событие происходит вследствие событий, обусловленных самим фактом возникновения эксплуатационного состояния станции, а не его продолжительности. Например, некоторые исходные события могут быть связаны с проведением испытаний или работами в переходных режимах, и частота возникновения таких событий не будет изменяться пропорционально продолжительности эксплуатационного состояния станции.

9.21. Если некоторые исходные события исключаются из последующего анализа из-за низкой частоты возникновения, обусловленной короткой продолжительностью соответствующих эксплуатационных состояний станции, то к допущению, упомянутому в пункте 9.20, следует вернуться и обосновать его на тот случай, если ВАБ уровня 1 будет использован в качестве монитора риска.

9.22. Вообще говоря, существуют три подхода к количественной оценке частоты исходных событий, возникающих в конкретном эксплуатационном состоянии станции (см. пункты 5.149–5.152):

- а) прямая оценка, базирующаяся на опыте эксплуатации (т.е. опыте анализируемой станции, других станций однотипной конструкции либо опыте эксплуатации типового реактора);
- б) оценка, базирующаяся на частотах, определенных в ВАБ уровня 1 для работы на номинальной мощности, с выполнением дополнительного анализа (т.е. переоценки частот возникновения аварий с потерей теплоносителя для разгерметизированного или открытого реактора);
- с) использование логической модели, включающей все прогнозируемые вводимые факторы, приводящие к исходному событию.

9.23. Для корректного учета зависимостей между ошибкой, которая приводит к исходному событию (например, ошибкой, ведущей к потере функции отвода остаточного тепловыделения), и ошибкой, допущенной при реагировании на это событие (например, неудачной попыткой восстановления функции отвода остаточного тепловыделения), ошибки, которые приводят к возникновению исходного события, следует моделировать в явном виде.

9.24. Общие результаты соотнесения исходных событий с эксплуатационными состояниями станции следует отображать в таблице или в другой наглядной форме. Один из примеров приведен в приложении III.

АНАЛИЗ АВАРИЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

Функции безопасности и критерии успеха

9.25. Рекомендации по общему подходу к анализу аварийных последовательностей представлены в пунктах 5.41–5.69. Хотя уровни остаточного тепловыделения во время останова, как правило, значительно ниже, чем непосредственно после останова из режима работы на номинальной мощности, события, затрудняющие выполнение функций

безопасности, все же могут возникать по причинам, связанным с характеристиками возможных конфигураций станции. При анализе следует учитывать перечисленные ниже аспекты.

- a) В связи с отключением автоматического срабатывания учитываемых систем во время останова готовность оборудования безопасности может снизиться, а зависимость от действий эксплуатационного персонала — увеличиться.
- b) Может не быть обеспечена герметичность системы теплоносителя первого контура, и возможен дополнительный байпас гермооболочки.
- c) Работоспособность системы, которая первой испытывает на себе воздействие, будет в целом зависеть от конкретного исходного события, характеристик эксплуатационного состояния станции и уровня остаточного тепловыделения.
- d) Следует определить число резервированных каналов или компонентов, доступных для выполнения определенной функции безопасности, с учетом минимальных требований по эксплуатационным пределам и условиям, а также опыта эксплуатации.

9.26. Для задания критериев успеха для различных систем следует использовать функциональные критерии, которые могут отличаться от критериев успеха, установленных в ВАБ уровня 1 для работы на номинальной мощности.

Анализ для нужд установления критериев успеха

9.27. Следует надлежащим образом пересмотреть модели деревьев отказов, построенные в рамках ВАБ уровня 1 для работы на номинальной мощности. Даже если логика и реакция системы остаются в основном теми же, что и при работе на номинальной мощности, следует учитывать возможные изменения условной доступности систем или элементов.

9.28. Для обеспечения корректности допущений, сделанных аналитиком (например, относительно охлаждения активной зоны), следует выполнить теплогидравлические расчеты для определения реалистичных критериев успеха. Уровень детальности теплогидравлического анализа должен соответствовать требованиям анализа систем и конфигурации первого контура. Для переходных эксплуатационных состояний станции (при останове и пуске), а также в условиях горячего останова конфигурация и условия работы систем первого контура в некоторых случаях схожи с конфигурацией и условиями работы в переходных режимах, наступающих

после работы на номинальной мощности, и в этом случае применимы модели, используемые в теплогидравлических расчетах для режимов работы на номинальной мощности. В других случаях применимость моделей необходимо обосновывать. В отношении других эксплуатационных состояний станции для оценки применимости конкретного кода следует провести сравнение характеристик системы первого контура с возможностями данной модели. Например, в случае легководных реакторов при проведении теплогидравлического анализа для нужд установления критериев успеха следует учитывать как минимум следующие факторы:

- a) состояние границы давления первого контура;
- b) демонтаж или ослабление крепления крышки корпуса реактора;
- c) демонтаж предохранительного клапана или вскрытие воздушника первого контура;
- d) изоляцию петель или установку сопловых перемычек;
- e) уровень воды в парогенераторе;
- f) параметры первого контура (например, температуру, давление, присутствие неконденсируемого газа, запас устойчивости);
- g) уровень воды в первом контуре;
- h) уровень остаточного тепловыделения;
- i) состояние герметичности защитной оболочки;
- j) готовность систем защиты к выполнению функций безопасности.

9.29. В ходе выполнения теплогидравлических расчетов следует дать оценку нарушению критериев для конкретного состояния повреждения топлива. Данные критерии и время работы до повреждения могут значительно отличаться в зависимости от того, открыт ли или закрыт реактор.

Моделирование аварийных последовательностей

9.30. Для моделирования реакции станции и действий эксплуатационного персонала при возникновении исходных событий следует использовать деревья событий (см. пункты 5.59–5.63) или эквивалентные формы отображения данных. Составление подробных схем последовательности событий, включающих взаимодействия персонала, перед моделированием аварийных последовательностей считается положительной практикой.

9.31. При анализе аварийных последовательностей следует рассматривать возможность выполнения эксплуатационным персоналом действий, направленных на восстановление функции охлаждения, а также подачи воды в реактор из альтернативных источников, по крайней мере в качестве действий по смягчению последствий аварии.

9.32. Моделирование аварийных последовательностей следует выполнять силами междисциплинарной группы, в состав которой с самого начала проведения анализа следует включить специалистов по анализу надежности персонала.

Конечные состояния аварийных последовательностей и состояния повреждения станции

9.33. Как и в случае работы на номинальной мощности, для состояний останова аварийные последовательности следует объединить в группы по состояниям повреждения станции с целью ограничения различных возможных результатов ВАБ уровня 1 разумным числом вариантов, подлежащим дальнейшему анализу (ВАБ уровня 2 или ВАБ уровня 3), и компактного представления результатов исследования. Ожидаемое развитие аварии, включая угрозы нарушения целостности защитной оболочки и перенос радионуклидов, для всех аварийных последовательностей, объединенных в группу, соответствующую конкретному состоянию повреждения станции, должно быть схожим в качественном отношении. С другой стороны, современные аналитические инструменты дают возможность проводить моделирование аварийных последовательностей и соответствующих категорий выбросов. Такие подходы не требуют вышеуказанного разбиения на группы состояний повреждения станции для ВАБ уровня 1. Следует задавать надлежащее время реализации последовательности (см. пункт 5.53) с учетом специфических особенностей и временных параметров протекающих процессов.

9.34. В процессе выбора состояний повреждения станции при выполнении ВАБ уровня 1 для состояний останова следует учитывать состояния повреждения станции, указанные для ВАБ уровня 1 для работы на номинальной мощности (см. пункт 5.66). Однако в рамках ВАБ уровня 1 для состояний останова следует идентифицировать дополнительные состояния повреждения станции, отличные от тех, которые учитываются в рамках ВАБ уровня 1 для работы на номинальной мощности. Например, учет дополнительных состояний повреждения станции может потребоваться для

условий, присущих некоторым состояниям станции в режимах останова, таким как состояния со снятой крышкой корпуса реактора или с открытым люком загрузки оборудования в гермооболочке.

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

- а) уровень остаточного тепловыделения (с учетом времени, прошедшего с момента отключения режима работы на номинальной мощности);
- б) состояние гермооболочки, особенно для случаев, когда гермооболочка открыта;
- в) условия, которые определяют время восстановления изолирующей функции гермооболочки и потенциально сниженную эффективность (т.е. степень герметичности) гермооболочки в этот период;
- г) целостность границы давления первого контура при снятой крышке корпуса реактора, установленных перемычках, снятых предохранительных клапанах и открытом воздушнике системы первого контура;
- д) запас воды в первом контуре.

9.35. Надлежащее определение состояния повреждения станции будет иметь решающее значение для получения и интерпретации результатов.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

9.36. Как и в случае с ВАБ уровня 1 для работы на номинальной мощности, целью системного анализа в рамках ВАБ уровня 1 для состояний останова является детальное моделирование системных отказов, которое необходимо для количественной оценки аварийных последовательностей. Наиболее широко используемым методом моделирования систем является анализ дерева отказов. Можно использовать и по мере необходимости адаптировать модели деревьев отказов, построенные для работы на номинальной мощности (см. пункты 5.72–5.83). В то же время, если это необходимо, следует пересмотреть существующие модели или, возможно, разработать новые модели, особенно в следующих ситуациях:

- а) существующие модели систем не подходят для описания поведения конкретной системы в разных эксплуатационных состояниях станции. Например, для системы может быть предусмотрена другая

конфигурация с целью проведения технического обслуживания или особая настройка системы может изменить критерии успеха для системы (например, при выводе одного канала системы безопасности в плановый ремонт);

- b) конкретная система, которая находилась в режиме ожидания при работе на номинальной мощности, эксплуатируется в период останова;
- c) срабатывание системы при останове происходит в ручном режиме, в то время как при работе на номинальной мощности система срабатывала автоматически;
- d) время срабатывания может существенно различаться у разных систем;
- e) критерии успеха изменяются для разных режимов эксплуатации станции;
- f) количество каналов, изначально готовых к работе, разное для каждого эксплуатационного состояния станции;
- g) временные «окна» и условия на станции существенно различаются, что может повлиять на вероятность успеха восстановительных действий и позволит отнести ремонтные работы к учитываемым в анализе;
- h) конкретная система не моделировалась, поскольку в этом не было необходимости для условий работы на номинальной мощности;
- i) для конфигурирования функции безопасности, которая используется только в состояниях останова (например, для использования системы охлаждения бассейна выдержки с целью охлаждения активной зоны реактора), необходимо установить соединение между конкретными системами. Следует учитывать процедуру, которой необходимо следовать при установлении такого соединения;
- j) конкретная система не моделируется, поскольку это было бы необходимо только для ВАБ уровня 2 для работы на номинальной мощности.

Примеры конкретных требований к моделированию систем приведены в приложении III.

АНАЛИЗ ЗАВИСИМЫХ ОТКАЗОВ

9.37. Как поясняется в пунктах 5.87–5.92 для режима работы на номинальной мощности, целью данного анализа является выявление зависимостей, которые могут повлиять на логику и количественную оценку аварийных последовательностей и моделей систем. В этом отношении основными типами зависимостей являются функциональные зависимости

от систем снабжения и обеспечивающих систем; от оборудования, которое используется как общее при сопряжении систем и процессов; физические зависимости, в том числе те, которые прямо или косвенно вызваны исходными событиями; зависимости от взаимодействий персонала; отказы по общей причине. Все указанные зависимости следует включать в анализ.

9.38. Взяв за основу условия работы на номинальной мощности, следует проанализировать различные обеспечивающие системы и системы, которые первыми испытывают на себе воздействие, а также их взаимные зависимости и проверить их на применимость к особым эксплуатационным состояниям станции. Испытания и мероприятия по техническому обслуживанию могут создавать новые источники зависимостей, которые следует учитывать. Примеры представлены в приложении III.

9.39. При необходимости следует внести изменения в модели зависимостей для работы на номинальной мощности, особенно если критерии успеха отличаются от установленных для состояний останова или если различаются условия функционирования обеспечивающих систем (таких как системы вентиляции, системы электроснабжения).

9.40. Следует также пересмотреть схему, координирующую отключения систем и элементов.

9.41. Следует определять различные механизмы отказов по общей причине и потенциальное воздействие работ по техническому обслуживанию и других работ, специально выполняемых в состояниях останова, на возникновение таких механизмов отказов.

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ПЕРСОНАЛА

9.42. В пунктах 5.97–5.122 разъяснены ключевые аспекты анализа надежности персонала; данные аспекты актуальны и для режима останова. Анализ событий, вызванных ошибками персонала во время останова, представляет сложность. Поэтому анализ надежности работы персонала должен отличаться стройностью и логичностью. Как и в случае прочих аналитических задач, процесс анализа надежности персонала следует тщательно документировать с возможностью его прослеживаемости. Анализ надежности персонала должен быть нацелен на получение

значений вероятностей отказа, которые согласуются как между собой, так и с результатами анализа, выполненного в рамках других разделов ВАБ уровня 1.

9.43. В ходе анализа следует надлежащим образом учитывать типичные особенности периода останова, такие как широкое привлечение ремонтного персонала из сторонних организаций, частая сверхурочная работа и повышенный объем работ на пункте управления. Следует также учитывать трудности с надзором за выполнением работ и требования, вызванные жесткими графиками.

9.44. При проведении анализа надежности персонала следует поддерживать тесное взаимодействие специалистов по анализу надежности персонала с эксплуатационным и ремонтным персоналом станции, с тем чтобы обеспечить надлежащее отражение в анализе конструктивных и эксплуатационных особенностей станции в режиме останова. Если это невозможно (например, в случае станции на этапе проектирования или строительства), то аналитикам следует попытаться получить информацию, основанную на практическом опыте эксплуатации однотипных станций.

События, связанные с ошибками персонала, типа А — ошибки, совершенные персоналом до возникновения исходных событий

9.45. События, связанные с ошибками персонала, типа А (см. пункт 5.103) включают действия, связанные с проведением испытаний, технического обслуживания, ремонта или калибровки, которые при ненадлежащем выполнении могут стать причиной неготовности оборудования. Процесс идентификации и количественной оценки событий, связанных с ошибками персонала, типа А аналогичен процессу, применяемому в ВАБ уровня 1 для работы на номинальной мощности, но в нем следует учитывать особенности режима останова, в частности следующее:

- а) функциональные испытания, проводимые в конце периода останова, могут быть сопряжены с жесткими временными ограничениями и, следовательно, с более высокой вероятностью приводить к ошибкам персонала;
- б) готовность функций автоматического восстановления регулировок может быть снижена (например, может не сработать сигнал автоматического закрытия клапана, который остался открытым после проведения испытания).

События, связанные с ошибками персонала, типа В — ошибки персонала, которые могут приводить к возникновению исходного события

9.46. Ввиду большого разнообразия различных мер по техническому обслуживанию, испытаниям и изменению конфигурации нельзя ожидать, что в связи с частотой возникновения исходных событий, характерных для режима останова (таких как слив воды вследствие неправильной регулировки клапана), будут наблюдаться все возможные ошибки персонала. Поэтому возможность того, что ошибки персонала могут способствовать возникновению исходных событий, следует оценивать в явном виде. Это также важно для рассмотрения зависимости в контексте мер реагирования (события, связанного с ошибкой персонала, типа С). Результатом данной оценки может стать выявление ошибок персонала, приводящих к неготовности компонентов — непосредственной либо в форме скрытых дефектов в случае требования, смоделированного в дереве отказов для исходного события. Для проведения анализа могут использоваться следующие источники информации:

- а) письменные регламенты пуска и останова при эксплуатации;
- б) опыт эксплуатации;
- с) документация по планированию отключений, в том числе технические спецификации и регламенты испытаний и технического обслуживания.

При анализе событий, связанных с ошибками персонала, типа В может потребоваться скрининг с целью принятия решения о том, какие ошибки подлежат отсеву на основании качественной оценки, а какие нуждаются в количественной оценке или даже детальном анализе. Возможный подход изложен в приложении III. Расчет вероятностей ошибок персонала может быть выполнен в соответствии с описанием в пунктах 5.115–5.119.

События, связанные с ошибками персонала, типа С — ошибки персонала после возникновения исходного события

9.47. События, связанные с ошибками персонала, типа С (см. пункт 5.106) особенно важны в режиме останова ввиду сниженного уровня работы автоматики на станции. Они, как правило, являются важными вкладчиками в риск во многих исследованиях ВАБ уровня 1 для состояний останова. Таким образом, следует уделять большое внимание реалистичной оценке вероятностей отказов в результате данных событий.

9.48. В выбранной методологии следует учитывать особые аспекты, важные для методичного моделирования и количественной оценки событий, связанных с ошибками персонала, типа С в рамках ВАБ уровня 1 для состояний останова. Приведенные ниже аспекты могут отличаться от тех, которые учитываются в ВАБ уровня 1 для работы на номинальной мощности:

- a) частота срабатывания сигнализации и сигналов постоянной повышенной готовности;
- b) качество руководящих указаний в регламентах;
- c) уровень подготовленности эксплуатационного персонала;
- d) продолжительность временных окон для реагирования;
- e) качество интерфейсов, которые облегчают действия персонала в состояниях останова.

9.49. Значения, генерируемые с использованием корреляций «время — надежность», характерных для работы на номинальной мощности, следует принимать с осторожностью, поскольку временные окна в состояниях останова могут находиться далеко за пределами применимых диапазонов таких корреляций.

9.50. Следует учитывать вероятность совершения ошибок при диагностике причин исходных событий, особенно когда предполагается использовать процедуры, основанные на событиях.

9.51. Как и в случае ВАБ уровня 1 для работы на номинальной мощности, следует учитывать зависимости между событиями, связанными с ошибками персонала, в одной и той же аварийной последовательности (см. пункты 5.120 и 5.121). Однако в модели ВАБ для состояний останова особенно важно учитывать зависимости между событиями, связанными с ошибками персонала, типов В и С. Если причиной возникновения исходного события, такого как потеря функции отвода остаточного тепловыделения, была ошибка персонала, то обстоятельства, которые вынудили оператора совершить ошибку, вероятно, будут затруднять процесс восстановления функции отвода остаточного тепловыделения. Это может привести к большей вероятности возникновения отказа, чем в случае, когда потеря данной функции происходит в результате механического отказа.

ОЦЕНКА ДАННЫХ

9.52. Данные, необходимые для количественной оценки модели ВАБ уровня 1 для состояний останова, включают в себя следующее:

- a) частоту возникновения исходных событий;
- b) данные, относящиеся к вероятности ошибок персонала;
- c) продолжительность эксплуатационных состояний станции;
- d) допустимое время простоя;
- e) данные о надежности компонента;
- f) неготовность в связи с техническим обслуживанием, включая совпадение сроков выполнения операций по техническому обслуживанию на основе истории эксплуатации;
- g) оценку отказов по общей причине.

Основные потребности и методы сбора данных, описанные в разделе 5 (см. пункты 5.143–5.159), также применимы к состояниям останова. Поскольку данные количественной оценки параметров надежности компонентов, характерных для режима останова, не столь широко доступны, как данные для работы на номинальной мощности, принято адаптировать данные о работе на номинальной мощности. Этого, однако, не следует делать без прозрачного обоснования применимости этих данных.

9.53. Следует проанализировать оценку данных о работах по техническому обслуживанию и испытаниям для разных конфигураций; одни виды работ можно выполнять в течение всего периода останова, другие — только при определенных конфигурациях. Кроме того, в зависимости от конфигурации может меняться частота проведения технического обслуживания и испытаний.

9.54. Основной задачей испытаний, проводимых в ходе плановых остановов, является проверка правильности функционирования оборудования, прошедшего техническое обслуживание, прежде чем оно будет возвращено в строй. Неготовность такого оборудования следует определять исходя из средней продолжительности испытаний и продолжительности эксплуатационного состояния станции, в течение которого проводятся испытания данного компонента.

9.55. Следует провести оценку возможных взаимодействий персонала и вероятности ошибок персонала при выполнении переналадок после проведения работ по техническому обслуживанию и испытаний.

9.56. Следует учитывать возможность проведения ремонта, поскольку он может в значительной степени повысить готовность систем, учитываемых в эксплуатационных состояниях станции, в условиях останова. Если ремонт будет исключен из рассмотрения, это может в большинстве случаев привести к переоценке риска, особенно в сценариях после возникновения исходных событий. При этом учет ремонта в анализе повышает реалистичность модели ВАБ. Под «ремонтом» здесь понимаются случаи краткосрочных восстановительных действий, достаточных для решения задач, возникших в результате рассматриваемой аварийной последовательности. Тем не менее ремонт следует ограничить случаями, когда, судя по опыту эксплуатации станции, имеются хорошие шансы на восстановление или когда вероятность успеха может быть подтверждена инженерным заключением и/или установленными регламентами ремонтных работ, действительными для условий данной аварийной последовательности.

9.57. Следует учитывать зависимость продолжительности ремонта от эксплуатационного состояния станции. Такие зависимости могут быть связаны с доступностью систем и оборудования, готовностью персонала к выполнению ремонта, наличием запасных частей, а для некоторых аварийных последовательностей — уровнем радиации в зоне, где ремонтируется компонент.

9.58. Для состояний останова следует подобрать соответствующую модель надежности, которая будет учитывать тот факт, что некоторые компоненты, находящиеся в резерве при работе на номинальной мощности, могут эксплуатироваться в период останова.

9.59. Время срабатывания компонентов используется в моделях для расчета вероятности того, что произойдет отказ работающего оборудования, используемого для выполнения определенной функции безопасности с целью достижения и/или поддержания стабильного состояния останова после исходного события. Время срабатывания компонентов может оказывать большое влияние на расчетную вероятность отказа системы. Следует обеспечить согласованность допущений в отношении времени срабатывания компонентов с моделированием аварийных последовательностей (т.е. с временем реализации последовательности и временем срабатывания системы), равно как и с данными по надежности, поскольку эти данные могут выявить чувствительность к времени срабатывания.

9.60. Если в анализе предполагается учесть прогнозируемые изменения в регламентах остановов, это может иметь последствия для сбора данных. Эти изменения могут быть такими, что из доступной информации об опыте эксплуатации либо вовсе невозможно получить необходимые данные, либо можно извлечь необходимые данные только после адаптации посредством анализа или инженерного заключения.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА АВАРИЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

9.61. При выполнении ВАБ уровня 1 для состояний останова следует проводить количественную оценку аварийных последовательностей теми же методами, что и в случае ВАБ уровня 1 для работы на номинальной мощности. Использование других методов, таких как методы Маркова, вместо стандартных методов оценки деревьев отказов и деревьев событий может давать более реалистичные результаты для состояний останова, в которых длительное время реализации последовательностей дает возможность учета в анализе восстановительных действий.

9.62. При рассмотрении результатов количественной оценки, как и в случае ВАБ уровня 1 для работы на номинальной мощности, следует тщательно анализировать полученные минимальные сечения. В ВАБ уровня 1 для состояний останова может потребоваться внесение изменений в модели систем для учета условий различных режимов эксплуатации станции. Если модели систем модифицируются, следует проводить перекрестную проверку минимальных сечений, полученных для однотипных аварийных последовательностей или систем в разных эксплуатационных состояниях станции, чтобы удостовериться в том, что любые различия между ними на самом деле являются следствием разных эксплуатационных состояний станции или характеристик последовательностей, а не ошибок моделирования.

АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ, АНАЛИЗ ЗНАЧИМОСТИ И ИССЛЕДОВАНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

9.63. При анализе неопределенностей для состояний останова следует использовать те же методы, что и в ВАБ уровня 1 для работы на номинальной мощности (см. пункты 5.179–5.181).

9.64. Анализ значимости и исследования чувствительности также следует проводить теми же методами, что и в ВАБ уровня 1 для работы на номинальной мощности (см. пункты 5.171 и 5.174–5.178).

9.65. Исследования чувствительности являются важной частью анализа в рамках ВАБ уровня 1 для состояний останова; они имеют целью анализ потенциального воздействия многих факторов, составляющих специфику ВАБ для состояний останова. Например, конкретные условия, которые были выбраны для определения характеристик некоего эксплуатационного состояния станции, могут воспроизводить более широкий спектр условий, которые могут фактически иметь место в период пребывания станции в этом эксплуатационном состоянии. По сравнению с ВАБ для работы на номинальной мощности могут иметь место иные комбинации систем, находящихся в состоянии неготовности, одни 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 варьироваться в зависимости от момента наступления того или иного эксплуатационного состояния станции относительно времени ее останова. Критерии успеха также могут варьироваться в зависимости от уровней остаточного тепловыделения. Эти вариации следует исследовать, особенно для случаев, когда допущения, используемые для моделирования конкретного эксплуатационного состояния станции, вносят определяющий вклад в риск.

ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

9.66. В целях выполнения требования 20 GSR Part 4 (Rev. 1) [3] в документацию ВАБ уровня 1 следует включать процедуры выполнения ВАБ уровня 1 для работы на номинальной мощности с добавлением разделов с описанием аспектов, составляющих специфику ВАБ уровня 1 для состояний останова, таких как раздел с подробным описанием процесса, используемого для идентификации типов отключения, эксплуатационных состояний станции и исходных событий.

9.67. Как указывалось в предыдущих разделах, результаты, полученные на каждом важном этапе анализа, следует включать и отображать наряду с важными инженерными заключениями, сделанными по итогам анализа. В документацию следует включать оценки общих результатов и выводов, а также сведения о неопределенностях.

9.68. На основе выводов предварительного анализа часто вводятся новые или вносятся усовершенствования в существующие письменные регламенты технического обслуживания или эксплуатации. Все подобные изменения также следует отражать в документации.

9.69. Наконец, следует представить и рассмотреть более общие выводы и рекомендации. В той степени, в какой это необходимо для принятия решений, в документацию следует включать следующие темы:

- a) частоты конечных состояний, представляющих повреждения активной зоны и/или топлива, — важные вклады, интегрированные по всем эксплуатационным состояниям станции:
 - i) вклад преобладающих последовательностей;
 - ii) вклад эксплуатационных состояний станции;
 - iii) вклад групп исходных событий;
 - iv) результаты анализа неопределенностей для частоты повреждения активной зоны и/или топлива;
 - v) результаты анализа значимости и исследований чувствительности в отношении частоты повреждения активной зоны и/или топлива;
- b) представление результатов по каждому эксплуатационному состоянию станции:
 - i) вклад преобладающих последовательностей;
 - ii) вклад групп исходных событий;
- c) представление интерфейса с ВАБ уровня 2 (при необходимости), с указанием характеристик и частот возникновения состояний повреждения станции;
- d) качественные оценки и заключения:
 - i) интерпретацию результатов и инженерные заключения;
 - ii) выводы и рекомендации.

9.70. Инженерные заключения и рекомендации следует представлять таким образом, чтобы они служили ясной отправной точкой для процесса принятия решений.

9.71. Может оказаться полезным создание профиля риска для типичного графика отключения, особенно останова для перегрузки топлива. Такой профиль может, например, показать зависимость частоты повреждения активной зоны и/или топлива в разных эксплуатационных состояниях станции от времени пребывания в остановленном состоянии или времени после начала снижения мощности. Пример профиля риска приведен в приложении III.

9.72. В отчет следует включать следующую детальную информацию из ВАБ уровня 1 для состояний останова:

- a) значимые минимальные сечения, вносящие вклад в суммарную частоту повреждения активной зоны и/или топлива;
- b) значимые минимальные сечения, вносящие вклад в частоту повреждения активной зоны и/или топлива, по каждому эксплуатационному состоянию станции.

Уровень значимости минимальных сечений следует определять исходя из целей ВАБ.

9.73. В документацию следует включать информацию о:

- a) вкладе ошибок персонала и зависимых отказов в частоту повреждения активной зоны и/или топлива;
- b) вкладе независимых отказов в частоту повреждения активной зоны и/или топлива;
- c) влиянии различных функций безопасности, моделируемых в деревьях событий, на частоту повреждения активной зоны и/или топлива.

9.74. Помимо частоты повреждения активной зоны и/или топлива, следует анализировать другие нежелательные конечные состояния (например, те, которые связаны с критичностью или повреждением бассейна выдержки), оценивать частоты их возникновения и документировать результаты.

9.75. Станционные модели и данные следует в достаточном объеме документировать и конфигурировать в базах данных и компьютерных файлах с целью обеспечения возможности воспроизводства результатов и получения моделей, готовых к использованию в различных формах применения ВАБ.

9.76. Документацию следует оформлять в соответствии с требованиями регулирующего органа к ее рассмотрению.

10. ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ВАБ УРОВНЯ 1 ДЛЯ БАСЕЙНА ВЫДЕРЖКИ ОТРАБОТАВШЕГО ТОПЛИВА

10.1. В принципе в основу ВАБ уровня 1 для бассейна выдержки отработавшего топлива положена та же методология, что и в случае ВАБ уровня 1 для активной зоны реактора, описанная в разделах 5–9. Таким образом, общий процесс выполнения ВАБ уровня 1 для активной зоны следует адаптировать для бассейна выдержки отработавшего топлива с учетом особенностей, которые рассматриваются в настоящем разделе. Некоторые темы, затронутые в настоящем разделе, относятся как к ВАБ для активной зоны реактора, так и к ВАБ для бассейна выдержки отработавшего топлива.

НЕЖЕЛАТЕЛЬНЫЕ КОНЕЧНЫЕ СОСТОЯНИЯ

10.2. Следует четко идентифицировать нежелательные конечные состояния, представляющие интерес в связи с проведением ВАБ уровня 1 для бассейна выдержки отработавшего топлива. При задании нежелательных конечных состояний, представляющих интерес, за основу следует брать национальные вероятностные цели или критерии безопасности, применяемые к бассейну выдержки отработавшего топлива, если таковые указаны в национальных правилах или рекомендациях.

10.3. Для определения характеристик указанных нежелательных конечных состояний следует разработать критерий (или критерии, если это необходимо). В отношении активной зоны (см. пункты 5.43 и 5.44) часто делается допущение о том, что повреждение активной зоны происходит при превышении проектных пределов для топлива. В отсутствие детального теплогидравлического анализа в качестве критерия для предположения о повреждении топлива может быть применено оголение топлива (т.е. когда в результате выкипания или дренирования уровень воды в бассейне выдержки отработавшего топлива падает ниже верха активной части тепловыделяющих сборок при их хранении или манипулировании с ними в бассейне выдержки).

10.4. Помимо повреждения топлива, в процессе идентификации потенциальных нежелательных конечных состояний следует также рассматривать оголение топлива и выкипание воды в бассейне выдержки (например, в случае бассейнов выдержки, расположенных вне гермооболочки).

10.5. Если это необходимо в целях оценки риска, следует рассматривать повреждение тепловыделяющих сборок до заранее определенной степени, с тем чтобы установить основное конечное состояние, представляющее интерес. Механическое повреждение ограниченного числа топливных стержней или единичной тепловыделяющей сборки в ходе операций по перегрузке топлива можно исключить из дальнейшего анализа, если можно обосновать, что эти события не повлекут за собой крупного радиоактивного выброса.

10.6. Значительные механические повреждения топлива вследствие воздействия таких внутренних опасностей, как падение тяжелых грузов или падающие предметы (в том числе разрушения конструкций, ставшие следствием возникшей опасности), или сочетаний опасностей следует также рассматривать в качестве нежелательного конечного состояния, поскольку такие события могут поставить под угрозу соблюдение проектных пределов по топливу.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СОСТОЯНИЯ СТАНЦИИ

10.7. Моделирование всех эксплуатационных состояний станции, значимых с точки зрения риска, может потребовать учета широкого спектра конфигураций бассейна выдержки отработавшего топлива вместе с соответствующими работами по плановому техническому обслуживанию и изменениями в уровнях остаточного тепловыделения. Для того чтобы число состояний оставалось в пределах разумного, однотипные эксплуатационные состояния станции следует объединять в группы.

10.8. При таком объединении следует учитывать следующие физические и технические аспекты и различия в схемах загрузки топлива в разных эксплуатационных состояниях станции:

- a) запас воды в бассейне выдержки отработавшего топлива;
- b) остаточное тепловыделение тепловыделяющих сборок, находящихся на хранении в бассейне выдержки;

- с) конфигурация системы бассейна выдержки отработавшего топлива (т.е. изолирован ли бассейн от реактора или соединен с ним);
- д) положение, в котором хранятся тепловыделяющие сборки в бассейне выдержки (например, на нижнем стеллаже или на верхнем стеллаже, в зависимости от конструкции);
- е) выполняемые работы по обращению с топливом;
- ф) готовность и плановое техническое обслуживание учитываемых систем;
- г) потенциальные восстановительные действия и ремонт;
- h) различия в потенциальных исходных событиях при разных конфигурациях хранения топлива и связанных с ними манипуляциях с топливом, при необходимости.

ИСХОДНЫЕ СОБЫТИЯ

10.9. К примерам типов исходных событий, рассматриваемых в ВАБ уровня 1 для бассейнов выдержки отработавшего топлива, относятся:

- а) потеря функции охлаждения (т.е. отказ систем отвода тепла в бассейне выдержки, потеря внешнего электроснабжения);
- б) потеря запаса теплоносителя (например, разрыв трубы в контуре отвода тепловыделения из бассейна выдержки, случайное дренирование вследствие ошибочных действий персонала);
- с) аварии, связанные с реактивностью (например, разбавление бора, ошибки при загрузке топлива);
- д) исходные события, вызванные внутренними опасностями, которые могут привести к отказу системы отвода остаточного тепловыделения из бассейна выдержки (включая разрывы трубопроводов как источник внутренних затоплений в других системах, помимо контура отвода остаточного тепловыделения), потере запаса воды в бассейне выдержки или падению предметов на тепловыделяющие сборки в бассейне выдержки в результате грузоподъемных операций;
- е) исходные события, вызванные внешними опасностями, которые могут привести к отказу системы отвода остаточного тепловыделения из бассейна выдержки, к потере запаса воды в бассейне выдержки или падению предметов на тепловыделяющие сборки в бассейне выдержки в результате разрушения конструкций из-за возникших опасностей;
- ф) исходные события, вызванные сочетаниями опасностей, которые могут приводить к последствиям, описанным выше в пунктах д) и е).

АНАЛИЗ АВАРИЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

10.10. В анализе аварийных последовательностей возможность выполнения эксплуатационным персоналом действий по восстановлению системы отвода остаточного тепловыделения в бассейне выдержки, а также подачи воды в бассейн выдержки из альтернативных источников следует рассматривать как минимум в качестве действий по смягчению последствий аварии. В зависимости от обстоятельств следует также учитывать автоматические срабатывания систем.

10.11. В анализе аварийных последовательностей следует учитывать особые работы, производимые в процессе восстановления системы охлаждения бассейна выдержки отработавшего топлива, восстановления трубопроводов после разрывов и внешнего электроснабжения после его потери (например, ремонт вышедшего из строя компонента). При оценке времени, необходимого для восстановления работоспособности, следует принимать во внимание начальный запас воды в бассейне выдержки отработавшего топлива, остаточное тепловыделение тепловыделяющих сборок, хранящихся в бассейне выдержки, и возможности систем, используемых в работе по смягчению последствий.

10.12. Следует принимать во внимание потенциальные зависимости между активной зоной реактора и бассейном выдержки отработавшего топлива, обусловленные наличием общих компонентов или ресурсов учитываемых систем (в том числе запасов воды), а также общих людских ресурсов в случае возникновения общих исходных событий. Следует также учитывать взаимодействия между бассейном выдержки и активной зоной реактора (например, последствия затопления, нагрузки на конструкции вследствие воздействия внешних опасностей или других явлений, случаи дренирования, когда бассейн выдержки и реактор соединены между собой).

10.13. При моделировании аварий с потерей теплоносителя в бассейне выдержки отработавшего топлива в качестве логически вытекающей опасности следует рассматривать затопление. В этом случае своевременная изоляция отсекаемых трубопроводов может быть отнесена к учитываемым действиям по исключению воздействия затопления (например, продолжительного отказа системы отвода остаточного тепловыделения в бассейне выдержки отработавшего топлива). Отказ (в том числе разрыв) сифонных трубок следует также учитывать в анализе аварийных последовательностей для исходных событий с потерей теплоносителя.

10.14. В анализе аварийных последовательностей следует принимать в расчет то, что кипение может стать причиной кавитации насоса, которая может помешать успешному перезапуску систем охлаждения и/или выполнению местных действий из-за ухудшения условий окружающей среды (в том числе температуры воздуха и уровня радиации) вблизи бассейна выдержки.

10.15. Для аварийных последовательностей с бассейном выдержки отработавшего топлива, предполагающих высокий уровень запаса воды и низкий уровень мощности, при определении времени реализации последовательности следует учитывать медленное развитие аварии, которое может оказаться сравнительно большим для того, чтобы можно было провести основательные ремонтно-восстановительные работы. Прекращение анализа по истечении заданного времени реализации последовательности может помешать получению значимых результатов.

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ПЕРСОНАЛА

10.16. Медленное протекание аварии в случае возникновения событий с потерей охлаждения в бассейне выдержки отработавшего топлива позволяет вовлечь достаточно большое число участников в процессы диагностики и принятия решений и выполнение ремонтно-восстановительных работ. Данный факт следует принимать во внимание при определении факторов, влияющих на работоспособность персонала, которые в наибольшей степени влияют на вероятность неудачного исхода восстановительных действий⁵² в таких ситуациях.

10.17. Степень детальности аварийных эксплуатационных инструкций для аварий с бассейном выдержки отработавшего топлива и для аварий с активной зоной реактора может быть разной. Такая разница может повлиять на надежность действий персонала при реагировании на аварию, и ее следует принимать во внимание при выполнении анализа надежности персонала в рамках ВАБ уровня 1 для бассейна выдержки отработавшего топлива.

⁵² Восстановительные действия могут учитываться в анализе только в том случае, если авария протекает медленно и у операторов имеется достаточный запас времени и информация для реализации таких действий.

10.18. Следует учитывать проблемы доступности для персонала мест выполнения действий для бассейна выдержки отработавшего топлива. В частности, эти проблемы могут иметь значение для сценариев с кипением воды.

10.19. Следует учитывать потенциальные зависимости между действиями персонала по предупреждению наступления нежелательных конечных состояний для бассейна выдержки отработавшего топлива, а также для активной зоны реактора. Кроме этого, при оценке соответствующих вероятностей ошибок персонала следует принимать во внимание усугубляющие факторы повышенной нагрузки на эксплуатационный персонал, занятый смягчением последствий одновременно протекающих аварий.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА

10.20. Все рекомендации, приведенные в пунктах 5.160–5.170, применимы к ВАБ уровня 1 для бассейна выдержки отработавшего топлива. Кроме этого, следует объединить модели ВАБ уровня 1 для топлива в активной зоне реактора и топлива в бассейне выдержки, с тем чтобы корректно моделировать зависимости между любыми общими системами. Это особенно важно для исходных событий, которые одновременно влияют на активную зону реактора и на бассейн выдержки, а также для последующего ВАБ уровня 2 (в частности, для станций, на которых бассейн выдержки находится внутри гермооболочки).

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

10.21. Комбинированную или отдельную интерпретацию риска аварий, связанных с бассейном выдержки отработавшего топлива и активной зоной реактора, следует увязывать с вероятностными целями или критериями безопасности, указанными в национальных правилах или рекомендациях.

10.22. В настоящее время на международном уровне не существует единого мнения о том, следует ли объединять результаты ВАБ уровня 1 для бассейна выдержки отработавшего топлива с результатами, полученными для реактора (см. [15])⁵³.

10.23. Если оценки обоих показателей риска предполагается объединить для получения обобщенной оценки риска, которая даст количественную характеристику уязвимости станции в случае тяжелых аварий, то следует учесть корреляции между аварийными последовательностями для бассейна выдержки и аварийными последовательностями для реактора, а не просто суммировать эти оценки (т.е. применить метод, подобный используемому для агрегирования значений частоты повреждения активной зоны на станциях с несколькими площадками или энергоблоками; см. раздел 11) (см. [15, 16]).

11. ВАБ УРОВНЯ 1 ДЛЯ МНОГОБЛОЧНЫХ АЭС

11.1. Соображения относительно взаимодействий на многоблочных АЭС с точки зрения ВАБ уровня 1 для единичного энергоблока изложены в разделах 5–10 (см., например, пункты 5.7, 5.20, 7.40, 7.76). Рекомендации, приведенные в настоящем разделе, относятся к проведению ВАБ уровня 1 для многоблочных станций, целью которого является количественная оценка показателей риска для многоблочных станций. В [16] можно найти дополнительную информацию об опыте государств-членов, разбор примеров из практики и рекомендации по выполнению многоблочного ВАБ.

11.2. Модель ВАБ для многоблочной станции обычно разрабатывается на основе моделей ВАБ для единичного энергоблока, при этом учитываются особенности каждого рассматриваемого блока.

ОБЪЕМ ВАБ ДЛЯ МНОГОБЛОЧНОЙ СТАНЦИИ

11.3. Как указывается в пункте 2.2 для ВАБ в целом, объем и необходимость выполнения ВАБ для многоблочной станции следует также увязывать с

⁵³ Результаты оценки рисков для реактора и бассейна выдержки можно надлежащим образом агрегировать в ВАБ уровня 2 и уровня 3.

вероятностными целями или критериями безопасности, если они заданы в национальных правилах или рекомендациях.

11.4. В объем ВАБ для многоблочной станции следует включать все значимые с точки зрения риска исходные события⁵⁴ и опасности, а также эксплуатационные состояния многоблочной станции, которые можно идентифицировать путем рассмотрения результатов ВАБ для единичного энергоблока. С целью определения объема ВАБ для многоблочной станции при необходимости можно провести скрининг на основании результатов рассмотрения ВАБ для единичного энергоблока⁵⁵.

ПОКАЗАТЕЛИ РИСКА В РАМКАХ ВАБ ДЛЯ МНОГОБЛОЧНОЙ СТАНЦИИ

11.5. Следует разработать показатели риска в дополнение к тем, которые уже используются в ВАБ для единичного энергоблока (например, частота повреждения активной зоны), с тем чтобы составить профиль риска в контексте многоблочной атомной электростанции для нужд принятия соответствующих решений. Например, в ВАБ уровня 1 для многоблочной станции могут быть использованы следующие показатели риска (см. [15, 16]):

- а) частота повреждения активной зоны единичного энергоблока: частота на одну площадку в год возникновения аварий с повреждением активной зоны только одного реактора на площадке многоблочной станции;

⁵⁴ Исходное событие на многоблочной станции — это исходное событие, которое ставит под угрозу нормальную эксплуатацию двух или более энергоблоков (или некое ухудшение состояния, которое в конечном итоге приводит к аварийному отключению или ставит под угрозу нормальную эксплуатацию) и которое требует успешной реализации мер по смягчению последствий, осуществляемых в целях предупреждения повреждения активной зоны затронутых энергоблоков, или которое может напрямую привести к повреждению активной зоны и/или топлива.

⁵⁵ В зависимости от объема ВАБ и в целях агрегирования показателей риска возможен также учет в рамках ВАБ особенностей многоблочной станции, а также потенциального воздействия других источников радиации, имеющихся на той же площадке (например, пунктов промежуточного хранения топлива, установок для переработки ядерных отходов).

- b) частота повреждения активной зоны нескольких блоков: частота на одну площадку в год возникновения аварий с повреждением активной зоны двух или более реакторов на площадке многоблочной станции;
- c) частота повреждения активной зоны на площадке: частота на одну площадку в год возникновения аварий с повреждением активной зоны одного или более реакторов на площадке многоблочной станции;
- d) частота повреждения топлива в нескольких источниках: частота на одну площадку в год возникновения аварий с повреждением топлива в двух и более источниках (таких как активная зона реактора, бассейн выдержки) на площадке многоблочной станции.

Показатели риска в рамках ВАБ для многоблочной станции следует задать таким образом, чтобы охватить различные комбинации активных зон реакторов и бассейнов выдержки на площадке, а также упростить использование результатов ВАБ для многоблочной станции в процессе принятия решений.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СОСТОЯНИЯ СТАНЦИИ

11.6. В рамках ВАБ для многоблочной станции следует выбрать репрезентативный набор комбинаций эксплуатационных состояний станции по каждому энергоблоку таким образом, чтобы наиболее значимые с точки зрения риска комбинации таких состояний могли быть учтены в анализе.

11.7. В отобранных комбинациях следует учитывать различные конфигурации всех реакторов как в режиме работы на номинальной мощности, так и в состояниях останова, а также принимать во внимание бассейны выдержки отработавшего топлива в различных эксплуатационных состояниях станции. Некоторые комбинации можно исключить, основываясь на практике эксплуатации станции (например, перегрузка топлива на двух блоках одновременно не практикуется). Упрощение комбинаций эксплуатационных состояний станции следует обосновывать под углом зрения значимости для риска.

11.8. В соответствии с рекомендациями в пунктах 9.8 и 10.7 различные эксплуатационные состояния станции следует объединять в группы. Такое объединение следует осуществлять таким образом, чтобы не потерять из виду потенциальную возможность возникновения исходных событий, значимых для риска с точки зрения многоблочных станций.

11.9. В ВАБ для многоблочных станций следует оценивать вероятность или долю времени пребывания каждого реактора в каждой из моделируемых комбинаций эксплуатационных состояний станции.

АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ СОБЫТИЙ

11.10. В рамках ВАБ для многоблочной станции следует проводить скрининг исходных событий, возникающих для нескольких энергоблоков, с учетом их значимости для риска. События можно исключать, если углубленный реалистичный анализ показывает отсутствие значительного влияния на выбранные показатели риска в рамках ВАБ для многоблочной станции.

11.11. Следует проверять и при необходимости пересматривать разбиение на группы исходных событий для единичного энергоблока, принимая во внимание то, что объединенные в группы исходные события могут потенциально оказать иное воздействие на многоблочную станцию.

11.12. В рамках ВАБ для многоблочной станции следует рассчитывать частоты возникновения событий, зависящих от комбинации эксплуатационных состояний станции, учитывая вероятность возникновения такой комбинации (см. также пункт 11.9).

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

11.13. В ВАБ для многоблочной станции следует в явном виде моделировать те КСЭ и ресурсы, которые являются общими для нескольких энергоблоков.

11.14. Следует учитывать готовность к работе общих КСЭ или доступность общих ресурсов для каждого из энергоблоков в ходе аварий, возникающих на нескольких энергоблоках.

11.15. Следует рассматривать и как можно более реалистично моделировать приоритеты использования общих КСЭ и ресурсов разными энергоблоками.

11.16. В системном анализе в рамках ВАБ для многоблочной станции следует рассматривать функциональные и пространственные зависимости между КСЭ разных энергоблоков на площадке.

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ПЕРСОНАЛА

11.17. В анализе исходных событий и/или аварийных последовательностей для многоблочной станции следует учитывать действия персонала, связанные с необходимостью управления несколькими реакторными установками.

11.18. В методах анализа надежности персонала, используемых в ВАБ для многоблочной станции, следует учитывать контекстные характеристики многоблочной станции, такие как повышенный стресс в случае аварии, затронувшей всю площадку, общие людские ресурсы, работа на общих пунктах управления (если применимо), а также взаимодействие энергоблоков с общим центром технической поддержки.

11.19. Следует принимать во внимание возможность возникновения зависимостей между действиями эксплуатационного персонала на разных энергоблоках. Следует оценивать уровень такой зависимости, учитывая такие факторы влияния, как общие ресурсы, взаимодействие с общим центром технической поддержки или иной организацией, координирующей действия на площадке, а также воздействие внутренних и внешних опасностей.

11.20. В случае возникновения аварий на одном или более энергоблоках одновременно следует учитывать неблагоприятное влияние на контроль и управление аварией на других энергоблоках, принимая во внимание факторы, связанные с тяжелыми авариями на других энергоблоках на площадке (например, радиологические выбросы, детонацию водорода).

ОТКАЗ ПО ОБЩЕЙ ПРИЧИНЕ И КОРРЕЛЯЦИИ НЕУСТОЙЧИВОСТИ К ОПАСНОСТИ

11.21. Для соответствующих КСЭ следует выявлять и моделировать межблочные отказы по общей причине.

11.22. Следует выявлять и моделировать межблочные корреляции неустойчивости к опасности.

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПРОФИЛЯ РИСКА В РАМКАХ ВАБ ДЛЯ МНОГОБЛОЧНЫХ СТАНЦИЙ

11.23. При количественной оценке профиля риска в рамках ВАБ для многоблочной станции следует принимать во внимание все комбинации нежелательных конечных состояний энергоблоков на площадке. Для того чтобы учесть все эффекты и взаимозависимости на нескольких энергоблоках и/или в бассейнах выдержки отработавшего топлива, расположенных на одной площадке, целесообразно использовать интегральную модель ВАБ для площадки, в которую включены все рассматриваемые исходные события, аварийные последовательности и учитываемые функции систем.

11.24. Профиль риска в ВАБ для многоблочной станции следует получать как результат агрегирования различных вкладчиков в риск, связанных с данной площадкой (таких как внутренние и внешние опасности, риски, связанные с активной зоной реакторов и бассейнами выдержки отработавшего топлива). При объединении данных элементов важно учитывать их потенциальную неоднородность и применять полученную информацию при использовании профиля риска в рамках ВАБ для многоблочной станции при принятии риск-ориентированных решений (см. пункт 12.7 и [15, 16]).

11.25. Следует проводить рассмотрение минимальных сечений для того, чтобы в модели правильно учитывались такие аспекты многоблочных станций, как общие КСЭ, аварийные условия и повреждения, возникающие одновременно на нескольких энергоблоках.

11.26. Полученные результаты ВАБ для многоблочной станции следует использовать в качестве исходной информации для принятия риск-ориентированных решений.

12. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ФОРМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВАБ УРОВНЯ 1

ОБЩИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВАБ

12.1. В настоящем разделе описывается ряд форм применения ВАБ, практикуемых в отдельных государствах на основе национальной политики и правил безопасности, и приводятся рекомендации по выполнению следующих требований:

- требования 23 GSR Part 4 (Rev. 1) [3] в отношении общего использования ВАБ;
- требований 6, 10, 16 и 42 SSR-2/1 (Rev. 1) [2] в отношении использования ВАБ при проектировании атомных электростанций;
- требования 22 SSR-2/1 (Rev. 1) [2] в отношении использования ВАБ для классификации по безопасности;
- требования 31 публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSR-2/2 (Rev. 1), «Безопасность атомных электростанций: ввод в эксплуатацию и эксплуатация» [39] в отношении использования ВАБ для оптимизации испытаний и технического обслуживания;
- требования 12 SSR-2/2 (Rev. 1) [39] в отношении использования ВАБ для проведения периодического рассмотрения безопасности;
- требования 8 SSR-2/2 (Rev. 1) [39] в отношении использования ВАБ для нужд выполнения работ, связанных с безопасностью.

12.2. ВАБ следует использовать на всем протяжении этапов проектирования и эксплуатации станции для нужд принятия решений, связанных с безопасностью станции, в целях определения приоритетности и оптимизации деятельности по проектированию и обеспечению безопасности таким образом, чтобы она была ориентирована на области, наиболее значимые с точки зрения риска.

12.3. Результаты ВАБ следует использовать для получения углубленных знаний о конструкции и эксплуатации КСЭ, важных для безопасности, с точки зрения предотвращения повреждения топлива в активной зоне реактора или в бассейне выдержки отработавшего топлива. Использование результатов ВАБ подобным образом должно включать сравнение с общими вероятностными целями или критериями безопасности, если таковые заданы.

12.4. Следует обеспечить, чтобы ВАБ, предназначенный для любой формы применения, был «текущим ВАБ», регулярно обновляемым с учетом изменений в конструкции и эксплуатации станции и текущего анализа переходных режимов. Анализ следует в полном объеме документировать, с тем чтобы общий ВАБ можно было проследить вплоть до деталей конструкции и вспомогательного анализа⁵⁶.

12.5. ВАБ следует актуализировать на протяжении всего жизненного цикла станции, причем объем, уровень детальности и точности ВАБ должны возрастать по мере развития проекта и проведения дальнейших анализов для обоснования допущений при моделировании в ВАБ и по мере поступления данных об опыте эксплуатации станции. Результаты ВАБ следует использовать для выявления слабых мест в проекте и эксплуатации и для оценки и ранжирования возможных улучшений в проекте и эксплуатации.

12.6. Модели ВАБ и, при необходимости, формы применения ВАБ следует периодически актуализировать на протяжении жизненного цикла станции с целью учета соответствующих изменений в проекте, практике эксплуатации, опыте эксплуатации и в других аспектах, влияющих на параметры, моделируемые в ВАБ.

12.7. При получении информации о рисках с помощью ВАБ следует внимательно подойти к уяснению сравнительной значимости для результатов ВАБ тех вкладов, которые вносят различные типы исходных событий аварий (т.е. внутренние исходные события, внутренние пожары и внешние опасности) и эксплуатационные состояния станции. В частности, следует признать, что агрегирование различных вкладчиков в риск (например, опасностей, эксплуатационных состояний станции, установок) подразумевает известную степень неоднородности в части уровня детальности, разрешения, изначального консерватизма и неопределенностей, связанных с отдельными вкладчиками в риск. Такая неоднородность может стать причиной неверных выводов на основании ВАБ, и потому ее следует принимать во внимание в процессе принятия

⁵⁶ Качественные характеристики моделей ВАБ уровня 1, важные для конкретных форм применения ВАБ, представлены в [40].

решений (см. [16])⁵⁷. Это особенно важно для тех форм применения ВАБ, которые основываются на оценке критериев значимости, и для применений типа монитора риска. Поэтому настоятельно рекомендуется делать расчет значимости риска для различных КСЭ отдельно по каждому вкладчику в риск. Например, расчеты критериев значимости риска для сейсмических событий и для внутренних событий следует выполнять по отдельности.

12.8. При получении информации о рисках с помощью ВАБ следует внимательно подойти к учету основных источников неопределенностей, при этом может возникнуть необходимость в проведении анализа чувствительности основных допущений.

12.9. В случае применений ВАБ уровня 1 на действующих станциях следует надлежащим образом информировать руководство станции о применяемых методиках и значении ВАБ, с тем чтобы у него сформировалось полное понимание своих обязанностей в этой связи.

12.10. Результаты ВАБ уровня 1 наряду с подробной сводкой качественных результатов и соответствующих заключений в отношении риска и значимости для риска всех моделируемых КСЭ и событий необходимы в таких формах применения ВАБ для того, чтобы понимание культуры безопасности было дополнено риск-ориентированными заключениями. Кроме того, активное участие руководства станции во всех риск-ориентированных применениях даст понимание того, как этими рисками управлять.

12.11. Одним из наиболее важных отличительных признаков многих форм применения ВАБ является то, насколько достоверно модель ВАБ отражает состояние станции на момент строительства и на момент эксплуатации, чтобы руководство станции могло довериться результатам ВАБ (см. [40, 41]).

⁵⁷ Например, при анализе риска пожара принято использовать подход с последовательным ограничением и скринингом, с тем чтобы уровень детальности анализа конкретной противопожарной зоны зависел от того, считается ли ее вклад в частоту повреждения активной зоны достаточно низким при использовании выбранного критерия скрининга. Это делается в целях оптимизации ресурсов, выделяемых на детальное моделирование пожара или трассировку кабелей. Внешние затопления — еще один пример ситуации, когда неопределенности, ассоциируемые с опасностью, могут в значительной степени превышать те неопределенности, которые связаны с внутренними событиями.

12.12. Пункт 4.32 SSR-2/2 (Rev. 1) [39] гласит:

«Если для целей принятия решения необходимо провести вероятностную оценку риска, эксплуатирующая организация обеспечивает для этого соответствующее качество и область применения анализа риска. Анализ риска выполняется аналитиками, обладающими надлежащей квалификацией, и используется таким образом, чтобы он дополнял детерминированный подход к принятию решений в соответствии с действующими регулирующими положениями и условиями лицензии станции».

В целях надлежащей интерпретации результатов вероятностную оценку риска следует сопровождать базовой информацией о концепциях и методах ВАБ.

ОБЪЕМ ПРИМЕНЕНИЙ ВАБ УРОВНЯ 1

12.13. Для выполнения требования 4 GSR Part 4 (Rev. 1) [3] в оценку безопасности, в зависимости от заданных вероятностных целей или критериев безопасности, следует включать полномасштабный ВАБ для анализа и оценки угроз безопасности в условиях нормальной эксплуатации, при ожидаемых при эксплуатации событиях и в аварийных условиях. Благодаря полноте ВАБ (включающего весь спектр внутренних исходных событий, внутренних опасностей и природных и антропогенных внешних опасностей и охватывающего все эксплуатационные состояния станции, включая пуск, работу на номинальной мощности, останов и перегрузку топлива) все заключения по итогам ВАБ, касающиеся значимости для риска аварийных последовательностей, КСЭ, ошибок персонала и отказов по общей причине, будут получены на основе комплексной, интегрированной модели станции. Тем не менее в отношении некоторых форм применения ВАБ предполагается, что могут потребоваться результаты ВАБ уровня 2 или даже ВАБ уровня 3 — обобщенных или выполненных для конкретной станции.

12.14. Во многих случаях объем ВАБ, необходимого для определенного применения, может отличаться от полного объема, о котором говорилось выше. В случае, если заключения о риске получены из ВАБ, имеющего меньший объем по сравнению с полномасштабным ВАБ, описанным в

настоящем Руководстве по безопасности (например, охватывающего не все исходные события и опасности), этот факт следует иметь в виду при применении заключений ВАБ⁵⁸.

12.15. В случае если ВАБ предназначен для использования в качестве репрезентативного ВАБ для более чем одного однотипного энергоблока на площадке, следует выявить все различия между конкретным энергоблоком и репрезентативной моделью и оценить их влияние на результаты ВАБ.

12.16. В национальной политике или правилах безопасности в отношении многоблочных атомных электростанций может быть установлено требование об учете риска, обусловленного наличием нескольких энергоблоков, при принятии риск-ориентированных решений. В таких случаях следует использовать либо заключения ВАБ для многоблочной станции (если таковой имеется), либо заключения ВАБ, в котором должным образом учитываются многоблочные взаимодействия с точки зрения единичного энергоблока (например, учтены исходные события, одновременно воздействующих на более чем один энергоблок, общие системы, совместно используемые энергоблоками, воздействие на работоспособность персонала и ресурсы, оценены межблочные зависимости, учтены каскадные или одновременно происходящие выбросы).

РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД

12.17. В любых формах применения ВАБ, описанных в настоящем разделе, заключения ВАБ следует использовать как часть процесса принятия риск-ориентированных решений, в котором учитывается следующее (см. [9, 13]):

- а) любые обязательные требования, относящиеся к рассматриваемому применению ВАБ (например, юридические или регулирующие требования);
- б) заключения, сделанные в результате детерминистического анализа безопасности (например, соблюдаются ли требования относительно глубокоэшелонированной защиты; имеются ли достаточные запасы безопасности; соблюдаются ли требования более низкого уровня,

⁵⁸ Например, если ВАБ уровня 1 не содержит анализа для внутренних пожаров, использовать заключения этого ВАБ в отношении трассировки кабелей представляется нецелесообразным.

такие как обеспечение достаточного уровня резервирования и неодинаковости КСЭ, выполняющих функции безопасности; аттестовано ли оборудование станции на уровне, достаточном для работы в неблагоприятных условиях, вызванных исходными событиями);

- с) любые другие применимые заключения или информация (например, анализ затрат и выгод, подробные данные об остаточном ресурсе станции, результаты инспекций, опыт эксплуатации, дозы облучения, получаемые работниками при выполнении работ по модификации станции).

12.18. При применении ВАБ на основе риск-ориентированного подхода все решения следует принимать взвешенно, с учетом всех относящихся к делу факторов. В оставшейся части настоящего раздела рассмотрены не все возможные формы применения ВАБ, а только те из них, которые наиболее широко используются в отдельных государствах⁵⁹.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВАБ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОЕКТА

12.19. ВАБ следует использовать для получения исходных данных для оценки проекта на протяжении всего жизненного цикла станции таким образом, как указывается ниже.

- а) ВАБ следует использовать на стадии концептуального проектирования для получения заключений о том, что предлагаемые проекты учитываемых систем и компоновка станции отвечают предъявляемым требованиям.
- б) ВАБ следует использовать на стадии концептуального проектирования для определения спектра исходных событий, которые необходимо учитывать в качестве проектных основ и основ лицензирования станции. В зависимости от обстоятельств для выполнения требования 20 SSR-2/1 (Rev. 1) [2] следует использовать модель ВАБ уровня 1 для внутренних исходных событий в целях подтверждения набора запроектных условий без значительной деградации топлива, который следует определить детерминистическими методами в соответствии с пунктом 3.40 SSG-2 (Rev. 1) [5].

⁵⁹ Дополнительная информация о формах применения ВАБ содержится, к примеру, в публикациях [40, 41].

- с) ВАБ следует актуализировать на всем протяжении этапов проектирования и строительства с целью учета новой информации, относящейся к проектированию, анализу безопасности и выбору площадки, по мере ее поступления.
- д) На действующей станции к ВАБ следует относиться как к текущему ВАБ и использовать его как один из источников исходных данных при решении вопросов эксплуатации, периодического рассмотрения безопасности и продления срока службы станции, а также для вынесения заключений о том, отвечают ли предлагаемые проектные модификации и эксплуатационные изменения предъявляемым требованиям.
- е) ВАБ следует использовать на этапе вывода станции из эксплуатации, чтобы удостовериться в том, что риски, связанные с процессом вывода из эксплуатации и сохранением на площадке оставшихся радиоактивных материалов, ничтожны малы (см. пункты 4.28 и 4.29 публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № WS-G-5.2, «Оценка безопасности вывода из эксплуатации установок, в которых используется радиоактивный материал» [42]).

Использование ВАБ для нужд принятия решений при проектировании атомной электростанции

12.20. Для получения максимально полезных результатов ВАБ, используемый для оценки проекта, как указано в пункте 12.13, должен быть полномасштабным. Благодаря этому ВАБ будет охватывать широкий спектр вопросов проектирования и эксплуатации станции. Объем ВАБ определяется главным образом диапазоном исходных событий и внешних и внутренних опасностей, включенных в ВАБ, а также диапазоном эксплуатационных состояний станции, рассматриваемых в ВАБ.

12.21. Пункт 5.76 SSR-2/1 (Rev. 1) [2] требует, чтобы ВАБ надлежащим образом учитывался в проекте, чтобы можно было говорить о разработке сбалансированного проекта, в котором предупреждаются пороговые эффекты и сравниваются результаты анализа в соответствии с критериями приемлемости риска. Пороговые эффекты следует проверять результатами анализа в форме исследований чувствительности, применяя разные наборы исходных данных для анализа, которые могут быть значимыми с точки зрения риска.

12.22. Заключение ВАБ позволяют оптимизировать проект новой станции с точки зрения показателей риска и объема затрат. Результаты ВАБ следует использовать для выработки подхода к определению следующего:

- a) обеспечены ли достаточные уровни неодинаковости и резервирования учитываемых систем;
- b) обеспечены ли достаточные уровни аттестации оборудования применительно к КСЭ, функционирующих в неблагоприятных условиях при авариях;
- c) обеспечено ли достаточное разделение и разнесение зон на случай возникновения таких опасностей, как пожар и наводнение;
- d) спроектирован ли человеко-машинный интерфейс таким образом, чтобы снижать вероятность ошибок персонала до достаточно низкого уровня.

Результаты ВАБ следует также использовать для установления необходимости введения дополнительных мер по снижению рисков.

12.23. ВАБ включает в себя исследование вариантов и экспериментальных проектных версий, достаточности резервирования и уровня неодинаковости систем и до определенной степени отражает противоаварийные мероприятия и меры по управлению авариями. Результаты ВАБ следует использовать в качестве отправной точки для повышения эффективности противоаварийных мероприятий⁶⁰ и мер по управлению авариями. Результаты ВАБ также следует использовать для установления целевых значений надежности и готовности КСЭ для выполнения вероятностных целей или критериев безопасности, что является частью проектных спецификаций. Кроме этого, ВАБ следует использовать в качестве вспомогательного инструмента для выбора или изменения условий проектных и запроектных аварий и для установления общих критериев проектирования. ВАБ также можно использовать как источник исходной информации для анализа затрат и выгод.

⁶⁰ Понятно, что ВАБ может быть не в состоянии охватить весь спектр факторов, связанных с эффективностью противоаварийных мероприятий. От ВАБ можно ожидать получения данных, связанных с такими аспектами, как время возникновения и динамика аварийных последовательностей, наиболее значимые с точки зрения риска сценарии, а также подробной информации о контексте развития сценария (например, о масштабе разрушений на площадке, подробных данных о выбросе).

12.24. При применении ВАБ для проектирования атомной электростанции следует уделить особое внимание правильному отображению новых проектных особенностей, которые, возможно, не были учтены в предыдущих ВАБ (например, уникальных исходных событий, видов отказа, отказов по общей причине, особых последовательностей событий, зависимостей).

12.25. В ВАБ, выполняемом на раннем этапе проектирования, следует учесть тот факт, что по причине отсутствия подробных проектных и эксплуатационных данных необходимо сделать дополнительные допущения, при этом справедливость таких допущений следует проверять на более позднем этапе проектирования (например, на этапе сооружения или ввода в эксплуатацию).

12.26. Следует оценить неопределенности исходной информации, данных и полученной оценки риска при помощи анализа неопределенностей и исследований чувствительности. Следует доказать, что заключения в отношении риска, используемые для оптимизации проекта и оценки безопасности, не зависят от главных допущений и ключевых неопределенностей.

12.27. Перечень минимальных сечений по модели ВАБ уровня 1 следует использовать для выявления относительно слабых мест в проекте и эксплуатации станции. Такое рассмотрение следует проводить для минимальных сечений, вносящих значительный вклад в частоту повреждения активной зоны и/или топлива, с целью выявления групп исходных событий, отказов компонентов и событий, связанных с ошибками персонала, которые вносят наибольший вклад в частоту повреждения активной зоны и/или топлива. Это также следует делать для минимальных сечений, содержащих базисные события с высоким уровнем значимости.

12.28. Вклад отдельных групп исходных событий в частоту повреждения активной зоны и/или топлива, а также вклад минимальных сечений для отдельных групп в частоту повреждения активной зоны и/или топлива следует использовать для определения того, является ли проект станции сбалансированным (т.е. того, что никакая конкретная группа исходных

событий и никакая конкретная аварийная последовательность внутри группы не вносит чрезмерно большого вклада в частоту повреждения активной зоны и/или топлива)⁶¹.

12.29. ВАБ следует использовать для проверки критерия единичного отказа в конкретном проекте. Это можно сделать, используя перечень минимальных сечений для определения того, имеются ли минимальные сечения, которые содержат только исходное событие и событие с единичным отказом либо единичное событие, вызванное ошибкой персонала (исключив при этом базисные события с конфигурацией, обычные для управления конфигурациями систем в особых эксплуатационных режимах станции), что может указывать на то, что требование единичного отказа в проекте не выполнено.

12.30. Перечни преобладающих минимальных сечений следует пересматривать для определения того, имеются ли возможности для улучшения глубокоэшелонированной защиты при выявлении недостатков.

12.31. Для интерпретации результатов ВАБ следует рассчитывать и использовать критерии значимости базисных событий, групп базисных событий, учитываемых систем и групп исходных событий⁶². Высокий показатель значимости по Fussell-Vesely или показатель значимости по Birnbaum для события с независимым отказом может указывать на недостаточное резервирование системы в некоторых эксплуатационных состояниях станции или на низкую степень надежности и, соответственно, на необходимость внесения улучшений. Высокая цена возрастания риска для события с независимым отказом может указывать на то, что во избежание возрастания риска следует тщательно поддерживать надежность оборудования на нынешнем уровне. Высокий показатель значимости по Fussell-Vesely для отказа по общей причине может указывать на недостаточную степень неодинаковости учитываемых систем с точки зрения выполнения конкретной функции безопасности. В таком случае может потребоваться существенное изменение проектной основы. Для нужд принятия решений во время проектирования станции следует на взаимодополняющей основе использовать несколько критериев значимости.

⁶¹ Международная практика показывает, что достижение указанной цели по внешним опасностям может быть затруднительно, особенно в новых проектах станций, в которых значения частоты повреждения активной зоны и/или топлива для внутренних исходных событий могут быть относительно низкими.

⁶² Разъяснение различных критериев значимости см. в пункте 5.171.

12.32. При наличии на площадке нескольких энергоблоков и/или источников следует учитывать влияние одного из этих энергоблоков на другие в рамках риск-ориентированного процесса оптимизации проекта с целью снижения значимости риска такого влияния.

Использование ВАБ в процессе лицензирования

12.33. Для получения лицензии на эксплуатацию необходимо провести оценку общей безопасности станции, которая, как правило, включает в себя полномасштабный ВАБ уровня 1⁶³. В рамках заявки на получение лицензии следует выполнить сравнение результатов ВАБ с вероятностными целями или критериями безопасности (если таковые заданы). В случае обращения за получением лицензии на подготовку к проведению строительных работ оценка безопасности может включать ВАБ ограниченного объема (например, с использованием данных по однотипным станциям).

12.34. Общие результаты ВАБ уровня 1 (как правило, частота повреждения активной зоны и/или топлива) следует сравнивать с вероятностными целями или критериями безопасности (если таковые заданы) с целью определить, обеспечат ли предлагаемый проект и эксплуатация станции достаточно низкий уровень риска. В задачу должно входить определение того, выполнены ли цели и критерии, и формирование общего представления о том, достигнут ли достаточный уровень безопасности для данной станции (т.е. предусмотрено ли проектом станции достаточное количество учитываемых систем и имеются ли надлежащие регламенты действий в аварийных ситуациях, эксплуатации, технического обслуживания и испытаний для предотвращения повреждения активной зоны или топлива в ходе эксплуатации).

12.35. Сравнение результатов ВАБ уровня 1 с вероятностными целями или критериями безопасности следует начинать при разработке концептуального проекта с последующим повторением этой работы в различных точках этапов проектирования, строительства и эксплуатации

⁶³ В разных странах предъявляются разные требования к объему ВАБ, выполняемого для целей лицензирования, в зависимости от учитываемых опасностей и исходных событий, а также от места расположения топлива (например, в реакторе, в бассейне выдержки отработавшего топлива, в хранилищах свежего или облученного топлива).

для нужд принятия решений по вопросам безопасности, технических и организационных решений, а также для подтверждения того, что проект по-прежнему отвечает установленным требованиям.

12.36. При проведении сравнения, описанного в пункте 12.35, следует учитывать результаты исследований чувствительности и анализа неопределенностей. Такие результаты указывают на степень уверенности в достижении целей и/или критериев и на вероятность того, что они будут достигнуты.

12.37. Следует обеспечить, чтобы такое применение ВАБ включало в себя предоставление в период, предшествующий получению лицензии, информации, нацеленной на получение согласия общественности на строительство и эксплуатацию атомной электростанции.

Сравнение проектных вариантов

12.38. При рассмотрении модификаций для атомной электростанции обычно предлагаются несколько вариантов. ВАБ следует использовать как отправную точку для сравнения этих вариантов. Способ выполнения этой задачи зависит от сложности рассматриваемой модификации, но может варьироваться от пересмотра модели ВАБ с целью включения в нее новой предлагаемой учитываемой системы (в случае сложных изменений) до последующей корректировки минимальных сечений (в случае простых изменений). ВАБ должен предоставить исходные данные для комплексного процесса принятия риск-ориентированных решений относительно выбора одного из вариантов (см. [9, 13]).

12.39. По сравнению с ВАБ для станций новых конструкций допущения и упрощения в ВАБ для действующих станций следует использовать в ограниченном объеме, поскольку всегда предпочтительнее использовать информацию, относящуюся конкретно к данной станции.

Использование ВАБ для периодического рассмотрения безопасности

12.40. В пункте 4.46 SSR-2/2 (Rev. 1) [39] говорится, что «в качестве исходных данных при [периодическом] рассмотрении безопасности может использоваться вероятностная оценка безопасности... обеспечивающая понимание вкладов в безопасность различных аспектов станции, связанных с безопасностью». Рассмотрение ВАБ уровня 1 следует проводить в соответствии с рекомендациями, относящимися к фактору безопасности 6

«Вероятностный анализ безопасности», из публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-25, «Периодическое рассмотрение безопасности атомных электростанций» [43].

12.41. В процесс оценки безопасности в данном применении следует включать выявление проблем безопасности, оценку их значимости для безопасности и принятие решений о необходимости реализации корректирующих мер.

12.42. В рамках периодического рассмотрения безопасности ВАБ следует использовать для получения представления об атомной электростанции в целом на текущий момент и для оказания помощи в выявлении экономически эффективных усовершенствований систем безопасности⁶⁴. Поэтому в ВАБ следует использовать данные по конкретной станции, моделировать условия на станции на момент строительства и на момент эксплуатации и учитывать возможное влияние явлений старения и соображений, связанных со сроком службы компонентов, на общие показатели риска. Можно выполнить расчеты чувствительности для оценки потенциального влияния старения на пассивные компоненты, которые, как правило, не обслуживаются или не подлежат замене⁶⁵.

12.43. При проверке адекватности заключений ВАБ для описанных в настоящем разделе форм применения анализа (например, при проверке адекватности мер, предусмотренных для запроектных условий с целью предупреждения значительной деградации топлива) следует опираться на накопленный опыт эксплуатации или современный уровень знаний о конкретном вопросе.

⁶⁴ В рамках периодического рассмотрения безопасности ВАБ может использоваться для обоснования продления срока службы станции, обоснования анализа затрат и выгод, связанных с возможными модификациями, с целью снижения степени риска возникновения тяжелых аварий, а также для оценки значимости проблем, связанных с безопасностью, с точки зрения риска (например, отступлений от установленных норм).

⁶⁵ В настоящее время моделирование эффектов старения КСЭ в контексте ВАБ находится на этапе экспериментальных разработок; как правило, эффектам старения дается качественная оценка.

Оптимизация защиты от внутренних опасностей и внешних опасностей

12.44. ВАБ для внутренних опасностей и внешних опасностей следует выполнять с самого начала разработки проекта, чтобы уже на ранней стадии можно было оптимизировать проект в отношении исходных событий, возникающих по причине внутренних опасностей и внешних опасностей.

12.45. ВАБ следует использовать с целью оптимизации проекта в части защиты от внутренних опасностей и внешних опасностей таким образом, чтобы получить исходные данные для решения следующих задач:

- a) проверка устойчивости КСЭ, в том числе гермооболочки, к воздействию внутренних опасностей и внешних опасностей (на основании результатов ВАБ для внутренних опасностей и внешних опасностей);
- b) установление критериев для разделения оборудования, трассировки кабелей и компоновки станции (например, на основе результатов ВАБ для пожаров и затоплений);
- c) понимание факторов, способствующих возникновению опасности (таких как критические места расположения высокоэнергетических линий, критические источники возгорания), и проектирование защитных средств (например, средств пожарной сигнализации и тушения пожаров, барьеров против затоплений или пожаров, мер защиты от внешних наводнений);
- d) установление критериев для разделения и/или разнесения противопожарных отсеков, дренажных систем, систем обнаружения и отсечения затоплений;
- e) выявление и сведение к минимуму операций по техническому обслуживанию, которые могут привести к пожару или затоплению.

12.46. На стадии проектирования следует принимать в расчет неопределенности, относящиеся к важным аспектам ВАБ для внутренних опасностей и внешних опасностей (например, подробные схемы трассировки кабелей, барьеры против затоплений или пожаров, анкерное крепление КСЭ, местоположение и ориентация компонентов).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВАБ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ИНСПЕКЦИЙ, ИСПЫТАНИЙ И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

12.47. В пунктах 12.48–12.79 содержатся рекомендации по выполнению требования 31 публикации SSR-2/2 (Rev. 1) [39], в соответствующих пунктах которого говорится:

«8.5. Периодичность проведения технического обслуживания, испытаний, надзора и инспекций отдельных конструкций, систем и элементов определяется исходя из:

- а) важности для безопасности конструкций, систем и элементов, с учетом данных вероятностной оценки безопасности;
- б) их надежности при эксплуатации и эксплуатационной готовности;
- с) оцененного потенциала ухудшения их состояния в период эксплуатации и их характеристик старения;
- д) эксплуатационного опыта;
- е) рекомендаций поставщиков.

8.6. С целью обеспечения надлежащего управления деятельностью по техническому обслуживанию осуществляется всеобъемлющий и структурированный подход к определению сценариев отказов, в котором по мере необходимости используются методы вероятностного анализа безопасности.

.....

8.13. Эксплуатирующая организация обеспечивает, чтобы в режиме эксплуатации на мощности работы по техническому обслуживанию выполнялись при наличии надлежащей глубокоэшелонированной защиты. Для демонстрации отсутствия значительного увеличения рисков в надлежащих случаях используется вероятностная оценка безопасности».

Риск-ориентированные технические спецификации

12.48. ВАБ следует использовать в качестве согласованной основы для разработки риск-ориентированных технических спецификаций, в которых задаются пределы и условия эксплуатации и технического обслуживания станции, связанные со значимостью затронутых средств станции с точки зрения риска⁶⁶.

12.49. ВАБ следует использовать для разработки технических спецификаций и идентификации оборудования, которое требуется включить в технические спецификации. При таком подходе за рамками технических спецификаций никогда не окажется оборудование, имеющее высокую значимость для безопасности, без указания условий, ограничивающих его эксплуатацию⁶⁷.

12.50. Заключение ВАБ следует использовать как исходные данные при установлении или проверке эффективности мер, предусмотренных на случай возникновения аномального события, не приводящего к немедленному аварийному останову реактора, следующим образом:

- а) на этапе проектирования ВАБ уровня 1 облегчает количественную оценку рисков, связанных с разной допустимой продолжительностью отключения (или другими соответствующими мерами) и с любыми дополнительными действиями, предпринимаемыми для реагирования на одно и то же аномальное событие. Такие риски следует сравнивать и для включения в технические спецификации следует предлагать

⁶⁶ В случае аномального события, не приводящего к немедленному аварийному останову реактора, технические спецификации определяют меры, которые необходимо реализовать, наряду с допустимой продолжительностью отключения (или другими соответствующими мерами) перед принятием этих мер, а также любые другие требуемые дополнительные действия (например, дополнительные требования к испытаниям резервируемого оборудования, снижение уровня мощности, отключение затронутого оборудования, срочный ремонт неисправных компонентов). На случай превышения допустимой продолжительности отключения (или других соответствующих мер) в технических спецификациях указываются дальнейшие действия эксплуатационного персонала. Как правило, технические спецификации основываются на детерминистических требованиях и инженерном заключении.

⁶⁷ Граничные условия эксплуатации задают требования к работоспособности оборудования, которые, как правило, ограничивают сочетания оборудования, которое можно одновременно вывести из работы для проведения технического обслуживания (это называется контролем конфигурации).

наилучший с точки зрения риска вариант. При количественной оценке таких рисков следует учитывать как риски, связанные с продолжением эксплуатации в течение допустимого времени, так и риски, возникающие после реализации рассматриваемой меры;

- б) в отношении действующей станции, для которой уже имеются технические спецификации и установлены граничные условия, ВАБ уровня 1 следует использовать для обоснования их уместности и возможного внесения изменений в допустимую продолжительность отключения (или другие соответствующие меры), если обоснование неубедительно.

В обоих случаях следует использовать и при необходимости видоизменять полномасштабный ВАБ уровня 1 для учета всех аспектов, относящихся к конкретному аномальному событию или конфигурации станции. Если объем ВАБ уровня 1 ограничен, то его можно использовать лишь в том случае, если будет доказано, что влиянием аномального события или конфигурации станции на риск, связанный с отсутствующими частями ВАБ, можно пренебречь.

12.51. Если предполагается перенести выполнение конкретной работы по техническому обслуживанию с периода эксплуатации на номинальной мощности на период останова (или наоборот), ВАБ следует использовать для оценки риска пересмотра конфигурации станции.

12.52. В заключения ВАБ следует включать информацию, необходимую для сравнения с критериями или руководящими принципами принятия решений, используемыми для обоснования риск-ориентированного подхода к техническим спецификациям. Такая информация может включать, например, условную частоту повреждения активной зоны или топлива в период технического обслуживания или ремонта; возрастающую условную вероятность повреждения активной зоны и/или топлива; суммарную возрастающую условную вероятность повреждения активной зоны и/или топлива в течение года; влияние предлагаемого изменения на среднегодовую частоту повреждения активной зоны и/или топлива.

Определение и оценка интервалов между контрольными испытаниями

12.53. Интервалы между контрольными испытаниями определяют частоту проведения испытаний, а иногда и стратегию испытаний КСЭ, важных для безопасности. В оценке интервалов между контрольными испытаниями,

выполняемой на основе ВАБ, учитывается риск неготовности оборудования по причине необнаруженных отказов и риск неготовности вследствие проведения испытаний и отказов, вызванных испытаниями.

12.54. Целью данной формы применения ВАБ является оптимизация стратегии и интервалов проведения контрольных испытаний с точки зрения их влияния на надежность оборудования и общие оценки риска. При оптимизации интервалов между испытаниями обычно принимаются в расчет потенциальные ошибки персонала, которые могут происходить во время контрольных испытаний и оказывать неблагоприятное воздействие на безопасность (например, такие, которые приводят к отключению станции и возникновению исходных событий).

12.55. На этапе проектирования следует учитывать все КСЭ, которые включены в модель ВАБ, с целью количественной оценки риска, связанного с разными стратегиями установления интервалов между эксплуатационными испытаниями, и выбора таких стратегий, с помощью которых будет обеспечено следующее:

- a) достижение общих вероятностных целей или критериев безопасности;
- b) установление более жестких требований к испытаниям компонентов, имеющих большую значимость для безопасности;
- c) снижение вероятности возникновения во время и после испытаний событий, связанных с ошибками персонала, которые могут стать причиной неготовности оборудования или возникновения исходного события;
- d) интервалы между эксплуатационными испытаниями не станут причиной чрезмерно высокой степени неготовности оборудования из-за потенциального чрезмерного износа подвергаемых испытаниям компонентов.

12.56. В случае действующей станции, для которой уже имеются стратегии проведения эксплуатационных испытаний, ВАБ следует использовать для обоснования их уместности и возможного внесения изменений в интервалы между эксплуатационными испытаниями компонентов, которые вносят наибольший вклад в риск и имеют высокую значимость с точки зрения риска.

12.57. При количественной оценке таких рисков следует принимать во внимание как погрешности математических моделей, так и неопределенность в данных о подвергаемых испытаниям компонентах.

12.58. При получении с помощью ВАБ исходной информации для оптимизации или обоснования интервалов между контрольными испытаниями следует изучить и принимать во внимание следующее:

- a) корреляцию между интервалами эксплуатационных испытаний и вероятностью отказа компонента (например, износа по причине частого проведения испытаний);
- b) отказы по общей причине с должным учетом типа испытаний (т.е. ступенчатые или неступенчатые испытания);
- c) потенциальную возможность возникновения событий, связанных с ошибками персонала, включая ошибки в результате нарушения инструкций, во время и после испытаний, приводящие к неготовности компонента и/или возникновению исходного события.

12.59. Как для новых, так и для действующих атомных электростанций следует использовать полномасштабный ВАБ, чтобы принимать в расчет влияние различных стратегий установления интервалов между эксплуатационными испытаниями. ВАБ ограниченного объема следует использовать лишь в том случае, если будет показано, что влиянием изменений в стратегии установления интервалов между эксплуатационными испытаниями на риски, связанные с отсутствующими частями ВАБ, можно пренебречь.

12.60. Следует в явном виде моделировать в ВАБ неготовность КСЭ по причине испытаний и иметь возможность прогнозировать влияние изменений интервалов между эксплуатационными испытаниями на каждую из затронутых КСЭ.

12.61. Следует использовать критерии значимости риска, с тем чтобы расставить приоритеты и ранжировать КСЭ, в отношении которых предполагается изменение интервалов между эксплуатационными испытаниями. Для оценки значимости риска и приемлемости предполагаемого изменения следует использовать изменение показателей риска, а для оценки приемлемости предполагаемого нового интервала между эксплуатационными испытаниями следует использовать показатели добавленного риска.

12.62. Для нахождения баланса между положительными и отрицательными сторонами контрольных испытаний необходимо понимать, каким образом ошибки персонала во время испытаний влияют на частоту исходных событий и отказы компонентов. Следует учитывать неготовность

оборудования, вызванную неудачными попытками персонала правильно восстановить нормальные настройки после испытаний. Если известно, что то или иное испытание может привести к повышению вероятности возникновения исходного события (частота возникновения исходного события связана с частотой проведения испытания), то это следует принять во внимание при изменении частоты проведения этого испытания.

Риск-ориентированные испытания в процессе эксплуатации

12.63. Современный подход к периодическим испытаниям в процессе эксплуатации требует их проведения в соответствии с кодексом или нормами, которые могут быть, а могут и не быть включены в предписывающие регулирующие положения, основанные на детерминистическом подходе к определению программы эксплуатационных испытаний, которую необходимо осуществлять для КСЭ станции.

12.64. Целью применения риск-ориентированного подхода к испытаниям в процессе эксплуатации является использование информации о рисках, предоставляемой ВАБ, для нужд оптимизации программы испытаний в процессе эксплуатации таким образом, чтобы она была сосредоточена на наиболее значимых с точки зрения риска компонентах. Риск-ориентированный подход к проведению испытаний в процессе эксплуатации может позволить эксплуатационному персоналу расставить компоненты в порядке их значимости с точки зрения риска и потенциально предотвратить излишне негативное воздействие испытаний на компоненты и повысить готовность компонентов при одновременном сохранении весьма высокого уровня безопасности.

12.65. При применении риск-ориентированного подхода к испытаниям в процессе эксплуатации результаты ВАБ следует использовать наряду с детерминистическими и инженерными соображениями для определения значимости рассматриваемых компонентов с точки зрения риска.

12.66. Информацию о риске из ВАБ следует получать при помощи показателя значимости по Fussell-Vesely и показателя значимости по Birnbaum (или цены возрастания риска), поскольку оба этих критерия значимости позволяют получить данные о значимости компонентов с точки зрения риска и должны отражать аспекты, касающиеся отказов по общей причине.

12.67. При наличии модели ВАБ для многоблочных станций ее следует использовать для нужд проведения риск-ориентированных испытаний компонентов, относящихся к общим системам энергоблоков. Использование модели ВАБ для многоблочных станций может дать дополнительную информацию о значимости совместно используемых систем и элементов с точки зрения риска, выраженную в виде показателей риска для многоблочных атомных электростанций.

12.68. Информацию о рисках следует использовать для выявления компонентов с относительно высокой значимостью для безопасности, для которых требуются строгие испытания в процессе эксплуатации, и компонентов с относительно низкой значимостью для безопасности, испытания которых в процессе эксплуатации могут быть менее строгими. После этого программа испытаний в процессе эксплуатации может быть скорректирована с учетом значимости компонентов для безопасности.

12.69. После корректировки интервалов между испытаниями в процессе эксплуатации следует использовать ВАБ уровня 1 для расчета частоты повреждения активной зоны и/или топлива с учетом новых интервалов между испытаниями с целью определения приемлемости внесенных изменений.

Риск-ориентированные инспекции до эксплуатации и в процессе эксплуатации

12.70. Общая цель программы инспекций трубопроводов до и в процессе эксплуатации на атомной электростанции заключается в выявлении деградировавших участков, которые могут быть отремонтированы, прежде чем произойдет отказ. Обычно программа инспекций основывается на традиционном детерминистическом подходе и инженерном заключении. При использовании риск-ориентированного подхода к проведению инспекций до и в процессе эксплуатации предполагается, что значимость некоторого участка трубопровода с точки зрения риска определяется сочетанием количественной или качественной оценки потенциала деградации с оценкой потенциальных последствий отказа данного участка трубопровода (например, условной вероятности повреждения активной зоны), которое можно представить в виде матрицы риска.

12.71. Следует использовать риск-ориентированный подход, который позволит воспользоваться заключениями ВАБ для корректировки программы инспекций (в плане частоты инспекций, используемых методов и

размеров выборки) таким образом, чтобы основное внимание было уделено участкам трубопроводов, представляющим наибольшую значимость с точки зрения риска, и снижению числа инспекций участков трубопроводов с малой значимостью для риска. Ожидается, что это приведет к уменьшению общего числа инспекций трубопроводов и снижению связанного с ними профессионального облучения без увеличения оцениваемого уровня риска⁶⁸.

12.72. На этапе проектирования риск-ориентированный подход следует применять для нужд разработки программы инспекций в целях предупреждения отказов трубопроводов, значимых с точки зрения риска. На действующих станциях такую программу следует осуществлять и актуализировать на основе информации об опыте эксплуатации.

12.73. Заключение ВАО следует использовать как отправную точку для определения:

- a) участков трубопроводов, которые следует оценивать посредством риск-ориентированных инспекций до и в процессе эксплуатации;
- b) значимости для риска участков трубопроводов, подлежащих оценке;
- c) целевых вероятностей отказов участков трубопроводов, подлежащих инспекциям;
- d) изменения уровня риска в результате изменений программы инспекций до и в процессе эксплуатации.

12.74. Для каждого участка трубопровода, включенного в объем ВАО, последствия его отказа следует определять одним из следующих способов:

- a) в качестве исходного события, с учетом любых возможных вторичных отказов (например, в результате выброса воды или пара, биения трубы);
- b) в качестве отказа в резервной системе, который может стать причиной неготовности какого-либо канала системы (или всей системы) к выполнению своей функции безопасности;

⁶⁸ Разработаны несколько подходов к проведению риск-ориентированных инспекций в процессе эксплуатации (см. [44]). Примерами служат методы, рекомендованные Научно-исследовательским электроэнергетическим институтом, Группой владельцев реакторов с водой под давлением и Европейской сетью по инспекциям и аттестациям.

- с) в качестве отказа какого-либо канала системы (или всей системы) при работе по требованию вследствие нагрузок, воздействующих на данный участок трубопровода.

12.75. Отказы трубопроводов, которые приводят напрямую к исходным событиям, обычно уже включены в полномасштабный ВАБ. Следует проверить, действительно ли это так и оценена ли условная вероятность повреждения активной зоны или топлива для всех исходных событий, вызванных отказом трубопровода. Для выявления трубопровода, имеющего наибольшую значимость с точки зрения риска, следует проводить ранжирование этих вероятностей.

12.76. В отношении отказов трубопроводов, которые приводят к неготовности учитываемых систем или неспособности учитываемых систем к работе по требованию, ВАБ следует использовать для расчета условной вероятности повреждения активной зоны и/или топлива. Такие отказы не всегда включаются в модель ВАБ⁶⁹, поэтому в случае применения ВАБ подобным образом в модель следует внести соответствующие коррективы. Часто применяется суррогатный подход, при котором отказы участков трубопроводов, которые в явном виде не включены в ВАБ, увязываются с базисными событиями (или с группами базисных событий), которые уже включены в ВАБ и для которых последствия отказов будут теми же. При этом следует удостовериться в том, что в данной модели ВАБ учтены любые вторичные последствия отказа трубопровода.

12.77. Более строгий способ определения значимости с точки зрения риска всех участков трубопроводов, включенных в программу риск-ориентированных инспекций до и в процессе эксплуатации, заключается в пересмотре модели ВАБ с целью включения в нее в явном виде этих участков трубопроводов и, тем самым, непосредственного определения ассоциируемой с ними условной частоты повреждения активной зоны и/или топлива. Этот подход был использован в ряде программ риск-ориентированных инспекций до и в процессе эксплуатации, реализованных в различных государствах-членах [44].

⁶⁹ Иногда такие отказы исключаются из анализа, если вклад отказа данного трубопровода в вероятность отказа учитываемых систем ничтожно мал по сравнению с вкладом отказа активных компонентов.

12.78. После определения скорректированной программы инспекций до и в процессе эксплуатации ВАБ следует использовать для получения заключений о риске, необходимых для сравнения с критериями принятия решений или руководящими принципами, используемыми для оценки приемлемости изменений в программе. Это следует делать посредством оценки конкретных изменений в частотах исходных событий или вероятностях отказов компонентов, являющихся результатом того или иного изменения в программе инспекций до и в процессе эксплуатации, и повторной количественной оценки модели ВАБ с этими пересмотренными значениями либо путем проведения исследований чувствительности. При осуществлении этого процесса следует признавать и учитывать ограничения, которые имеются у ВАБ с точки зрения детальности и объема моделирования.

12.79. При наличии модели ВАБ для многоблочных станций ее следует использовать для нужд проведения риск-ориентированных инспекций трубопроводов общих станционных систем. Следует обратить особое внимание на влияние отказов в трубопроводах общих станционных систем, чтобы понять, каким образом следует скорректировать стратегии инспекций с использованием риск-ориентированного подхода.

КЛАССИФИКАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ, СИСТЕМ И ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА

12.80. Ниже представлены рекомендации по выполнению требования 22 SSR-2/1 (Rev. 1) [2], согласно которому все узлы, важные для безопасности, должны быть определены и классифицированы на основе их функции и их значимости с точки зрения безопасности. Пункт 5.34 SSR-2/1 (Rev. 1) [2] гласит:

«Метод классификации узлов, важных для безопасности, на основе их значимости с точки зрения безопасности прежде всего должен быть основан на детерминистических методах, дополненных при необходимости вероятностными методами, с учетом таких факторов, как:

- a) функция(и) безопасности, которую(ые) выполняет данный узел;
- b) последствия отказа выполнять функцию безопасности;
- c) частота, с которой от данного узла потребуется выполнение функции безопасности;

д) время после постулируемого исходного события или период, в течение которого от узла потребуется выполнение функции безопасности».

12.81. Кроме того, в публикации Серии норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-30, «Классификация конструкций, систем и элементов атомных электростанций по безопасности» [45] содержатся следующие рекомендации по использованию ВАБ в целях классификации по безопасности (сноска опущена):

«2.3. Классификация по безопасности — это многократно повторяющийся процесс, который должен выполняться на периодической основе на протяжении всего процесса проектирования и актуализироваться в течение всего срока службы АЭС. Любое решение о присвоении КСЭ конкретных классов безопасности должно быть обосновано с использованием детерминистического анализа безопасности, дополненного данными вероятностного анализа безопасности и подкрепленного инженерной оценкой.

.....

2.14. Следующий этап процесса — определение класса безопасности всех КСЭ, важных для безопасности. Здесь следует применять в основном детерминистические методики, дополненные, где это уместно, вероятностной оценкой безопасности и инженерной оценкой для получения надлежащего профиля риска, т.е. такой конструкции АЭС, для которой события с высоким уровнем тяжести последствий имеют очень низкую прогнозируемую повторяемость.

.....

3.27. Адекватность классификации по безопасности следует проверять методом детерминистического анализа безопасности, который следует дополнять данными вероятностной оценки безопасности и/или подкреплять инженерной оценкой.

3.28. При присвоении класса безопасности важным фактором является вклад КСЭ в снижение общего риска для АЭС. Отсутствие противоречия между детерминистической и вероятностной оценками даст уверенность в правильности классификации по безопасности».

12.82. Целью применения классификации на основе риск-ориентированного подхода является предоставление исходных данных для процесса присвоения КСЭ классов безопасности сообразно их значимости с точки зрения риска⁷⁰. ВАБ следует использовать для рассмотрения возможности внесения изменений в традиционные регулирующие требования предписывающего характера в отношении некоторых КСЭ таким образом, чтобы эти требования точнее отражали значимость данных КСЭ для безопасности. В результате анализа, который будет проводиться силами группы экспертов из различных областей (таких как ВАБ, детерминистический анализ безопасности, эксплуатация, техническое обслуживание, технология или лицензирование), может быть сформулировано окончательное предложение о повышении или понижении класса безопасности рассматриваемого узла. Если в итоге класс безопасности будет повышен, то могут быть устранены проектные дисбалансы, влияющие на ядерную безопасность, которые были незаметны ранее. Если он будет понижен, то может быть сокращен объем ресурсов, необходимых эксплуатационному персоналу для реализации программы эксплуатационного надзора, и снята излишняя нагрузка на регулирующие органы без увеличения степени риска.

12.83. ВАБ уровня 1 следует использовать для определения значимости КСЭ с точки зрения риска, которая используется для предупреждения повреждения активной зоны или топлива. Значимость с точки зрения риска следует определять при помощи показателя значимости по Fussell-Vesely (или критерия, дающего эквивалентную информацию, такого как цена снижения риска или относительный вклад) и показателя значимости по Birnbaum (или цены возрастания риска) ввиду того, что оба этих критерия значимости дают понятие о значимости КСЭ с точки зрения риска. В качестве показателя значимости с точки зрения риска следует также использовать условную частоту повреждения активной зоны или топлива. Затем параметры значимости с точки зрения риска следует

⁷⁰ Традиционный подход к классификации по безопасности — это применение жестких требований обеспечения качества ко всем КСЭ, признанным важными для безопасности. Однако результаты многих ВАБ, проведенных до настоящего времени, показали, что некоторые КСЭ, классифицированные по безопасности, имеют относительно низкую значимость с точки зрения безопасности, в то время как некоторые КСЭ, классифицированные как не связанные с безопасностью, имеют относительно высокую значимость с точки зрения безопасности.

сравнить с пороговыми значениями, которые задаются таким образом, чтобы соответствовать обычной (т.е. детерминистической) методологии классификации.

12.84. При классификации системы как имеющей низкую либо высокую значимость для безопасности в качестве исходной информации для процесса принятия риск-ориентированных решений следует использовать значимость с точки зрения риска наряду с другой важной информацией, такой как соображения глубокоэшелонированной защиты.

12.85. Следует задуматься над тем, возможно ли снижение требований для КСЭ, классифицированных как важные для безопасности, но имеющих относительно низкую значимость для безопасности, и ужесточение требований для КСЭ, классифицированных как не важные для безопасности, но имеющих такую степень значимости для безопасности в контексте ВАБ, которой нельзя пренебречь.

12.86. Если на основе информации о значимости с точки зрения риска происходит изменение классов большого числа КСЭ и порядка обращения с ними (например, их испытаний и технического обслуживания), то возможно изменение оцененных вероятностей отказов большого числа КСЭ, моделируемых в ВАБ. Поэтому следует оценивать совокупное влияние риска, чтобы удостовериться в приемлемости любого совокупного прироста риска, который может произойти.

МОНИТОРИНГ И УПРАВЛЕНИЕ КОНФИГУРАЦИЕЙ РИСКА

12.87. Монитор риска — это инструмент анализа в реальном времени, который следует использовать для получения информации о риске на основании фактической конфигурации станции (с использованием ряда факторов, в число которых обычно входят эксплуатационное состояние станции, компоненты, выведенные из эксплуатации, и выбор рабочих каналов и резервированных каналов для систем нормальной эксплуатации) и текущих условий окружающей среды (например, в профиле риска на летний период не должен фигурировать вклад в риск, связанный с выпадением большого количества снега или экстремально низкими температурами).

12.88. С помощью монитора риска можно планировать будущие остановки на проведение технического обслуживания, выстраивать профиль риска на долгосрочную перспективу, выполнять анализ совокупного прироста

вероятности условного повреждения активной зоны и/или топлива и оценку рисков, связанных с нарушениями нормальной эксплуатации станции (т.е. неожиданными событиями, такими как отказы оборудования).

12.89. Информация, полученная с помощью мониторов риска, может использоваться в повседневном планировании техобслуживания, поскольку позволяет планировать работы по техническому обслуживанию таким образом, чтобы по возможности избегать высоких пиков риска и чтобы совокупный прирост условной вероятности повреждения активной зоны и/или топлива на станции оставался на низком уровне.

12.90. Количественную и качественную информацию о риске, которую дает монитор риска на действующих станциях, следует использовать в рамках комплексного процесса принятия риск-ориентированных решений, в котором учитываются и другие аспекты (например, технические характеристики станции, глубокоэшелонированная защита). Хотя мониторы риска используются только на действующих станциях, начало их разработки на этапе проектирования непосредственно после окончательной доработки проекта станции считается положительной практикой.

12.91. Монитор риска должен предоставлять как количественную (например, расчетную частоту повреждения активной зоны или топлива в конкретный момент времени, допустимое время конфигурации и совокупный прирост условной вероятности повреждения активной зоны и/или топлива), так и качественную (например, состояние функций и систем безопасности) информацию о риске.

Модель ВАБ и программное обеспечение монитора риска

12.92. Модель ВАБ для монитора риска следует скорректировать таким образом, чтобы она рассчитывала риск для каждой из конфигураций станции в конкретный момент времени, а не средний риск, обычно рассчитываемый в ВАБ.

12.93. Модель ВАБ следует скорректировать, удалив из нее все упрощения, сделанные с целью снижения объема анализа, необходимого для ВАБ (например, моделирование асимметрии), так как из-за них монитор риска может дать некорректные результаты для некоторых из станционных конфигураций, которые могут возникнуть.

12.94. В целях разработки монитора риска следует улучшить модель ВАБ таким образом, чтобы она обеспечивала расчет риска, который в большей степени соответствует фактической конфигурации станции. Например, ее следует сделать симметричной для учета всех возможных конфигураций (например, конфигураций работающих систем) и она должна допускать возможность задания статуса базисных событий как ИСТИННО (TRUE) или ЛОЖНО (FALSE), чтобы показывать неготовность того или иного компонента вследствие испытаний или технического обслуживания и тем самым отражать фактическую конфигурацию компонента. Разработанную модель ВАБ следует также сделать совместимой с программным обеспечением, используемым для монитора риска⁷¹.

12.95. Монитор риска следует сделать пригодным для использования работниками атомной электростанции, сведущими в конструкции и эксплуатации станции, а не только специалистами по ВАБ.

12.96. Следует обеспечивать соразмерность изменений, которые может вносить специалист по ВАБ или пользователь монитора риска, уровню экспертных знаний этих лиц и надлежащее документирование таких изменений.

12.97. Следует обеспечить, чтобы программное обеспечение, выбранное (или разработанное) для применения в мониторе риска, проходило валидацию, имело широкий диапазон функций и было пригодным для использования широким кругом работников станции.

12.98. Программное обеспечение должно обеспечивать результаты в таких временных рамках, которые отвечали бы потребностям его главных пользователей (например, специалистов по планированию работ, операторов пунктов управления), касающимся выполнения предусмотренных функций (например, оценки и управления риском, связанным с планируемыми или возникающими условиями, с точки зрения конфигурации).

⁷¹ Может потребоваться преобразование моделей дерева событий и дерева отказов, разработанных в ВАБ, в одну логически эквивалентную большую модель дерева отказов (обычно называемую «верхней логической моделью») или изменение способа использования в модели логики и логических операторов типа «НЕ».

12.99. Монитор риска должен представлять информацию таким образом, чтобы она была понятна потенциальным пользователям. Обычно он оформляется в виде цветных дисплеев, дающих пользователю ясную визуальную информацию об уровне риска или о статусе функций и систем безопасности.

12.100. Целью процесса валидации монитора риска должно стать обеспечение высокого уровня уверенности в том, что количественные результаты, полученные с помощью монитора риска, являются точными и идентичными либо эквивалентными тем, которые можно получить на основе ВАБ по базисному сценарию для всех вероятных конфигураций станции.

Ограничения мониторов риска

12.101. Пользователям мониторов риска следует знать о важных ограничениях в отношении объема и уровня детальности модели, используемой в мониторе риска, и, как следствие, об ограничениях, свойственных информации о риске, получаемой с его помощью. Например, если модель не охватывает внутренние и внешние опасности, то она может не оценить значимость учитываемых систем, которые предназначены для уменьшения последствий событий, возникающих вследствие указанных опасностей. Поэтому не следует использовать модель монитора риска для принятия решений без обоснования того, что отсутствующая часть модели не влияет на рассматриваемое решение.

ОЦЕНОЧНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИИ О РИСКАХ

12.102. Результаты ВАБ следует использовать для определения соответствующего набора оценочных показателей, дающих ретроспективную или текущую картину состояния безопасности станции.

12.103. Оценочные показатели безопасности на основе информации о рисках, которые демонстрируют поведение станции в прошлом, учитывая происшедшие события, отказы и случаи неготовности КСЭ, следует использовать для выявления тенденций и сравнения ожидаемыми значений рисков с расчетными с целью привлечения внимания лиц, принимающих решения, к эффектам старения КСЭ.

12.104. Оценочные показатели безопасности на основе информации о рисках должны также предоставлять информацию об изменении уровня риска в связи с планируемой деятельностью. Такие показатели следует основывать на мгновенной оценке риска.

12.105. После установления оценочных показателей безопасности на основе информации о рисках и их согласования регулирующим органом и эксплуатирующей организацией их следует использовать для повышения эффективности инспекций.

12.106. Оценочные показатели безопасности на основе информации о рисках следует выводить с помощью монитора риска или ВАБ, которые основываются на данных по конкретной станции и фактическом опыте эксплуатации.

АНАЛИЗ СОБЫТИЙ НА ОСНОВЕ ВАБ (АНАЛИЗ СОБЫТИЙ — ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ АВАРИЙ)

12.107. При помощи модели ВАБ можно выполнять анализ и ранжирование эксплуатационных событий, которые могут привести к аварийному отключению станции и/или стать причиной ухудшения состояния или выхода из строя КСЭ (т.е. анализ событий — предшественников аварий). Сегодня такой анализ все шире входит в практику многих государств, являясь стандартной составляющей учета опыта эксплуатации в дополнение к традиционному детерминистическому анализу, выполняемому для определения коренных причин.

12.108. Целью анализа событий является установление того, каким образом то или иное эксплуатационное событие может превратиться в аварию с более серьезными последствиями, и определение значимости этого события с точки зрения риска, с тем чтобы на него можно было отреагировать сообразно его значимости с точки зрения риска⁷².

⁷² Выполняя основанную на риске экстраполяцию незначительных эксплуатационных событий на аварийные сценарии с серьезными последствиями, можно сделать ценные выводы в отношении аварии, не сталкиваясь при этом с ее реальными последствиями.

12.109. Анализ события на основе ВАБ следует выполнять для событий на станции (также именуемых «непосредственными событиями») и соответствующих событий на других станциях («транспонированных событий»). В анализ событий на основе ВАБ следует включать анализ исходных событий и анализ условных событий (когда возрастает вероятность исходного события или снижается готовность учитываемых систем, требуемых для реагирования на исходные события).

12.110. Если речь идет об исходном событии, то для оценки условной вероятности повреждения активной зоны или топлива следует использовать модель текущего ВАБ уровня 1.

12.111. Если речь идет о событии, которое влияет на готовность одной или более КСЭ и/или на действия эксплуатационного персонала, но не является исходным событием, то модель ВАБ используется для расчета условной вероятности повреждения активной зоны или топлива с учетом неготовности затронутых КСЭ и продолжительности события (например, при помощи монитора риска).

12.112. Модель ВАБ должна быть способна оценить потенциальные воздействия, применимые к событию.

12.113. Анализ событий на основе ВАБ следует выполнять в отношении событий с потенциально высокой значимостью для безопасности. Это требует разработки критериев скрининга для отсева событий с низкой значимостью для безопасности и для ранжирования событий по значимости для безопасности.

12.114. Следует определять и точно описывать в модели ВАБ состояние станции, произошедшие отказы и действия эксплуатационного персонала во время события. Модель ВАБ следует подвергнуть повторной количественной оценке с целью получения результатов, необходимых для сравнения с критериями скрининга, описанными в пункте 12.113. Результатами, необходимыми для сравнения, обычно являются условные вероятности повреждения активной зоны или топлива.

12.115. При выполнении анализа событий на основе ВАБ, такого как процесс определения значимости события, следует моделировать известные неблагоприятные события, присваивая связанным базисным событиям

значение TRUE, в то время как известные события с благоприятным исходом следует моделировать с сохранением номинальной вероятности для связанных базисных событий.

12.116. Анализ событий следует дополнять исследованиями чувствительности для ответа на вопросы типа «что если?» (например, какова была бы условная вероятность повреждения активной зоны и/или топлива, если бы эксплуатационный персонал правильно не отреагировал на событие?). Ответы на такие вопросы следует дополнять качественными заключениями, дающими представление о главных вкладчиках в риск возникновения данного события.

12.117. Анализ событий на основе ВАБ следует проводить в дополнение к детерминистическому анализу, допуская возможность рассмотрения множественных отказов с использованием комплексной модели и выражая в виде количественных показателей значимость эксплуатационных событий с точки зрения риска. Его следует также использовать как отправную точку для рассмотрения того, какие изменения могут быть внесены с целью снижения вероятности повторения таких эксплуатационных событий.

12.118. Использовать результаты анализа событий на основе ВАБ для выявления тенденций в работе атомной станции или группы атомных станций за определенный период времени следует с известной долей осторожности. Результаты такого применения анализа событий на основе ВАБ могут оказаться дезориентирующими, если во всем анализе не использовались одни и те же модели, методы и допущения.

12.119. Если имеется модель ВАБ для многоблочной станции, то ее следует использовать для выполнения анализа событий на основе ВАБ, приняв во внимание ухудшение состояния общих станционных систем и воздействие исходного события на действия эксплуатационного персонала и на общие станционные ресурсы в случае, если затронуто несколько энергоблоков.

РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ РЕГУЛИРУЮЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

12.120. ВАБ следует использовать для формулирования заключений о типичных или специфических для станции рисках и о возможных изменениях проекта или эксплуатации, которые могут повысить уровень безопасности. Заключениями ВАБ следует также руководствоваться при установлении долгосрочных приоритетов для целей и требований

регулирования и соответствующей исследовательской деятельности в области безопасности. Изменения в показателях риска используются для оценки возможных изменений регулирующих требований, необходимых для внедрения стратегии менеджмента рисков.

12.121. Регулирующим органам следует рассмотреть возможность использования заключений ВАБ для принятия риск-ориентированных регулирующих положений, способствующих повышению безопасности населения, или выдачи соответствующих предписаний конкретным станциям на основании национальной политики и регулирующих требований в области безопасности.

12.122. В некоторых ситуациях заключения ВАБ могут указывать на то, что выполнение регулирующих положений требует больших затрат труда от эксплуатирующих организаций, а выигрыш с точки зрения безопасности при этом незначителен. В таких ситуациях регулирующим органам следует задуматься о целесообразности принятия риск-ориентированных подходов взамен действующих регулирующих положений или отмены таких положений в соответствии с национальной политикой по безопасности и регулируемыми требованиями.

12.123. При разработке и актуализации регулирующих положений и руководств регулирующим органам следует применять риск-ориентированный подход, отражающий информацию о рисках и заключения ВАБ, с целью:

- а) использования заключений ВАБ для выявления не охваченных действующими регулируемыми положениями областей, значимых с точки зрения риска, с тем чтобы можно было ввести дополнительные регулирующие положения;
- б) определения относительной значимости действующих регулирующих положений или требований с точки зрения риска, с тем чтобы в них можно было внести изменения соразмерно их значимости с точки зрения риска;
- с) выявления ненужных или неэффективных частей в регулирующих положениях или требованиях, с тем чтобы их можно было исключить.

12.124. Следует обеспечивать, чтобы объем и уровень детальности ВАБ были соразмерны исследуемому вопросу, при этом в ВАБ следует учитывать все аспекты рассмотрения данного вопроса.

РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ НАДЗОР И ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОБЛЮДЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ

12.125. Деятельность, осуществляемая регулирующим органом, в отношении действующей станции включает в себя выдачу, изменение, приостановление действия или отзыв разрешений или лицензий; регулирующий надзор; обеспечение реализации корректирующих действий; принятие в случае необходимости мер по обеспечению соблюдения требований. Качественные или количественные заключения в отношении риска, полученные из ВАБ, следует использовать в целях установления приоритетности и оптимизации надзорной деятельности регулирующего органа, например:

- a) для определения аспектов проекта и эксплуатации станции с целью сосредоточения внимания в ходе инспекций на тех областях проекта и эксплуатации станции, которые имеют высокую значимость с точки зрения риска, и сокращения объема либо отмены инспекций в областях с низкой значимостью для риска;
- b) для планирования регулирующих действий в ответ на конкретные события на станции или на конкретные условия на станции, потенциально ведущие к деградации, которые выявляются на основе опыта эксплуатации; при определении масштаба последующих действий (например, необходимости регулирующих действий по контролю исполнения и обеспечению соблюдения) регулирующему органу следует учитывать значимость для риска;
- c) для оценки значимости несоблюдения эксплуатирующей организацией требований регулирующего органа и невыполнения мер, направленных на обеспечение соблюдения требований;
- d) для оценки изменений в критериях риска, обусловленных результатами инспекции. Изменения в показателях риска и показателях условного риска могут потребоваться для оценки влияния деградации или проблем, обнаруженных в ходе инспекций, на уровень риска, а также для оценки возможных корректирующих мер;
- e) для разработки и оценки корректирующих мер в отношении проблем безопасности, выявленных в процессе надзора, включая предварительное исследование различных вариантов решения конкретной проблемы, когда для определения значимости для риска и приемлемости с точки зрения риска предлагаемых мер на основе характеристик риска используются изменения в показателях риска.

Изменения в показателях риска следует использовать для определения значимости для риска и приемлемости с точки зрения риска предлагаемых мер на основе характеристик риска.

12.126. ВАБ следует использовать для оценки и ранжирования как типичных, так и вновь выявленных для конкретной станции проблем безопасности. Для выявления и ранжирования проблем безопасности следует использовать информацию о вкладчиках в риск и критериях значимости с точки зрения риска. Проблемы безопасности, выявленные вне ВАБ, могут быть оценены в рамках ВАБ для определения их значимости с точки зрения риска после того, как эти проблемы будут оценены для получения характеристик риска (т.е. определения соответствующих исходных событий, аварийных последовательностей, КСЭ и действий эксплуатационного персонала).

12.127. ВАБ может также использоваться для принятия промежуточных решений, направленных на снижение озабоченности регулирующего органа, пока осуществляется оценка более долгосрочных решений. Ниже приведены примеры проблем, по которым может потребоваться принятие промежуточного решения:

- a) необходимость принятия регулирующих мер в ответ на событие на станции;
- b) разовое освобождение от соблюдения технических спецификаций или других лицензионных требований;
- c) временные изменения в конфигурации или регламентах эксплуатации аппаратного обеспечения.

12.128. Объем используемого ВАБ должен быть достаточным для получения ценной информации и зависит от области, вызывающей обеспокоенность регулирующего органа, и результатов инспекций. На начальном этапе могут быть использованы упрощенные типовые модели ВАБ для проведения консервативной скрининговой оценки, а в случае получения значимых результатов может быть проведена более реалистичная и подробная оценка. При необходимости такой оценкой следует охватить конкретные области, вызывающие обеспокоенность.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАКЛЮЧЕНИЙ ВАБ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИЛИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕГЛАМЕНТОВ

12.129. Систематическую оценку уязвимостей станции и заключения, сделанные в результате ВАБ уровня 1, следует использовать для выявления любой потенциальной необходимости в дополнительной проработке (т.е. уточнении или расширении охвата) аварийных эксплуатационных регламентов, гарантирующей реалистичный, достаточно подробный и последовательный учет широкого спектра уязвимостей.

12.130. На этапе проектирования в ВАБ уровня 1 для моделирования аварийных последовательностей и анализа надежности персонала используются аварийные эксплуатационные регламенты референтных станций. Процесс ВАБ позволяет выявлять те регламенты, в которых не полностью учтены конкретные особенности конструкции станции. На этапе проектирования следует использовать заключения в отношении риска для выявления регламентов, которые отсутствуют на референтных станциях и которые следует разработать, и регламентов, которые требуют доработки. Заключения в отношении риска должны также предоставлять информацию о конкретных действиях персонала, которые следует отразить, и условиях, которые следует в явном виде описать в аварийных эксплуатационных регламентах, чтобы эксплуатационный персонал имел возможность правильно выполнять действия.

12.131. На действующих станциях для определения аварийных эксплуатационных регламентов, которые нуждаются в улучшении в свете заключений ВАБ, следует использовать информацию из анализа аварийных последовательностей в рамках ВАБ уровня 1, выполненного с использованием существующих аварийных регламентов, и оценку связанных с ними взаимодействий персонала.

12.132. Результаты ВАБ уровня 1 следует анализировать для выявления последовательностей событий на станции, которые вносят чрезмерно большой вклад в риск и для реагирования на которые могут быть по-прежнему использованы учитываемые системы, но которые не могут быть учтены ввиду отсутствия надлежащих аварийных эксплуатационных регламентов. Для таких последовательностей событий на станции следует дополнительно проработать аварийные эксплуатационные регламенты.

12.133. Заключение, сделанные на основе ВАБ уровня 1, следует использовать для выявления и оценки преимуществ с точки зрения риска, которые можно получить за счет предполагаемого включения в аварийные эксплуатационные регламенты существующих, альтернативных или дополнительных систем, оборудования и мер с целью восстановления функций учитываемых систем и предотвращения перерастания событий в тяжелые аварии. Для определения потенциального негативного воздействия определенных мер следует применять комплексное видение реакции станции, используемое в методологии ВАБ.

12.134. Для нужд определения приоритетности возможных изменений в регламенте следует использовать критерии значимости риска⁷³ рассматриваемых или предполагаемых действий и связанных с ними аварийных последовательностей. Для обоснования приемлемости воздействия риска и определения значимости с точки зрения риска следует использовать изменения частоты повреждений активной зоны и/или топлива.

12.135. Анализ действий эксплуатационного персонала в рамках ВАБ уровня 1 должен способствовать совершенствованию аварийных эксплуатационных регламентов в части тех мер, которые направлены на предотвращение серьезного повреждения активной зоны или топлива.

12.136. Следует повышать уровень детальности модели ВАБ уровня 1 в областях, затронутых изменениями регламентов, связанных с аварийными последовательностями, в тех случаях, когда существующий ВАБ уровня 1 не отражает в явном виде аварийные последовательности и действия эксплуатационного персонала, которые относятся конкретно к выполнению соответствующих аварийных эксплуатационных регламентов.

12.137. При применении ВАБ подобным образом метод анализа надежности персонала, используемый в ВАБ уровня 1, должен быть способен прогнозировать влияние изменений регламентов; в противном случае его следует пересмотреть.

12.138. Следует также обеспечить, чтобы ВАБ уровня 1 предоставлял информацию о возможном пересмотре заданных точек принятия решения о переходе к использованию руководств по управлению тяжелыми авариями.

⁷³ Как правило, показатель значимости по Fussell-Vesely вместе с показателем значимости по Birnbaum (или ценой возрастания риска).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАКЛЮЧЕНИЙ ВАБ В ПРОЦЕССЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ОБУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА СТАНЦИИ

Совершенствование программы обучения эксплуатационного персонала

12.139. Результаты ВАБ уровня 1 следует использовать для определения подмножества значимых с точки зрения риска действий эксплуатационного персонала и разработки (для проектируемых станций) или усовершенствования (для действующих станций) программы обучения эксплуатационного персонала путем предоставления информации об аварийных процессах, относительной вероятности доминирующих аварийных последовательностей и соответствующих действиях, необходимых для предотвращения или смягчения последствий повреждения активной зоны или топлива.

12.140. Для улучшения программы обучения эксплуатационного персонала следует использовать описания доминирующих аварийных последовательностей с указанием частоты повреждения активной зоны или топлива, в которых события, связанные с ошибками персонала, играют значительную роль, описание критериев значимости риска событий, вызванных ошибками персонала, и связанных с ними КСЭ, восстановительных действий и действий по управлению авариями с высокой значимостью с точки зрения риска. Их также следует использовать для смягчения последствий ошибок персонала, а результаты ВАБ следует использовать для выбора тех действий, выполнение которых целесообразно отработать в усиленном порядке⁷⁴.

⁷⁴ Цена возрастания риска в случае события, связанного с ошибкой персонала, представляет собой долю, на которую увеличится вероятность повреждения топлива в случае, если работник станции не выполнит некоторое действие. И наоборот, показатель значимости по Fussell-Vesely представляет долю, на которую можно снизить частоту повреждения топлива в случае, если работник успешно выполнит действие. Поэтому в качестве исходных данных в процессе риск-ориентированного обучения эксплуатационного персонала следует использовать оба показателя значимости.

12.141. Следует обеспечить возможность получения с помощью методов анализа надежности персонала, используемых в ВАБ, количественной оценки предлагаемых изменений. Изменение в показателях риска должно давать возможность аналитикам оценивать значимость и приемлемость предлагаемого изменения.

12.142. Эксплуатационный персонал атомных электростанций тратит значительную часть своего времени на освоение станционных регламентов; следовательно, в ходе такого обучения следует использовать заключения в отношении риска для информирования эксплуатационного персонала о рисках, обеспечивая, чтобы у него было достаточно времени для ознакомления с действиями, значимыми с точки зрения риска.

12.143. В процессе обучения эксплуатационный персонал следует как минимум информировать о действиях, значимых с точки зрения риска. Этот процесс можно еще более усовершенствовать за счет внесения корректировок в частоту отработки определенных сценариев на тренажере, добавления значимых с точки зрения риска сценариев в программы аттестации эксплуатационного персонала и использования таких сценариев при проведении учений.

Совершенствование программы обучения персонала по техническому обслуживанию

12.144. Обучение персонала по техническому обслуживанию следует совершенствовать на основе заключений и информации, полученных из ВАБ, обращая внимание на потенциально значимые с точки зрения риска воздействия работ по техническому обслуживанию, такие как отказы по общей причине и отказы нескольких каналов системы, вызванные проведенным техническим обслуживанием.

12.145. Заключения в отношении риска дают информацию о значимых с точки зрения риска КСЭ, а также о значимых с точки зрения риска функциях и видах отказа, которые следует учитывать в программе технического обслуживания, а также о возможностях оптимизации задач по техническому обслуживанию, которые не являются существенными с точки зрения управления рисками.

12.146. Те же критерии значимости риска, которые были рекомендованы в пункте 12.134, следует использовать и для идентификации КСЭ, значимых с точки зрения риска, событий — предшественников аварии, связанных

с ошибками персонала, и базисных событий, связанных с техническим обслуживанием и отказами по общей причине, а также для их ранжирования с целью определения потенциальных изменений в программе технического обслуживания.

12.147. Изменения в показателях риска (например, в частоте повреждения топлива) следует использовать для оценки значимости и приемлемости предполагаемого изменения в программе обучения персонала по техническому обслуживанию.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВАБ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НОВЫХ ПРОБЛЕМ

12.148. По мере накопления опыта эксплуатации могут возникать различные проблемы, которые не были известны при проектировании, строительстве и на начальной стадии эксплуатации станции (например, механизмы отказа пассивных КСЭ вследствие старения).

12.149. Для оценки значимости новых проблем с точки зрения риска следует использовать качественные и/или количественные заключения ВАБ.

12.150. Многие из новых проблем, скорее всего, будут связаны с ухудшением состояния пассивных КСЭ вследствие старения и заменой морально устаревших компонентов, что не может быть в явном виде смоделировано в ВАБ. Поэтому следует внимательно рассмотреть вопрос о том, как точно смоделировать данную проблему (например, без излишне консервативных допущений) с использованием модели ВАБ (например, ухудшение состояния какой-либо группы регулирующих стержней не следует моделировать как неудачную попытку введения стержней). Поскольку о новых проблемах, как правило, имеется лишь ограниченная информация, при использовании заключений ВАБ следует проводить анализ чувствительности.

12.151. Эксплуатирующей организации следует использовать заключения ВАБ для определения приоритетности решения новой проблемы в контексте национальной политики и правил в области безопасности.

12.152. Регулирующему органу следует использовать заключения ВАБ для того, чтобы установить для эксплуатирующей организации надлежащий крайний срок для решения новой проблемы в контексте национальной политики и правил в области безопасности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [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), <https://www.iaea.org/ru/publications/7831/osnovopolagayushchie-principyu-bezopasnosti>.
- [2] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Безопасность атомных электростанций: проектирование, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSR-2/1 (Rev. 1), МАГАТЭ, Вена (2016).
- [3] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Оценка безопасности установок и деятельности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 4 (Rev. 1), МАГАТЭ, Вена (2016).
- [4] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Разработка и применение вероятностной оценки безопасности уровня 2 для атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-4, IAEA, Вена (2014). (Готовится к выпуску новая редакция этой публикации.)
- [5] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Детерминистический анализ безопасности атомных электростанций, № SSG-2 (Rev. 1), МАГАТЭ, Вена (2023).
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Protection Against Internal Hazards in the Design of Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. SSG-64, IAEA, Vienna (2021).
- [7] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Evaluation of Seismic Safety for Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series No. SSG-89, IAEA, Vienna (2024).
- [8] МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНСУЛЬТАТИВНАЯ ГРУППА ПО ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ, Основные принципы безопасности атомных электростанций, № 75-INSAG-3 (Rev. 1), INSAG-12, МАГАТЭ, Вена (2015).
- [9] МЕЖДУНАРОДНАЯ ГРУППА ПО ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ, Структура процесса принятия решений на основе комплексного риск-ориентированного подхода, INSAG-25, МАГАТЭ, Вена (2014).
- [10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Convention on Nuclear Safety, Legal Series No. 16, IAEA, Vienna (1994).
- [11] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Безопасность ядерной информации, Серия изданий МАГАТЭ по физической ядерной безопасности, № 23-G, МАГАТЭ, Вена (2023).

- [12] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Hierarchical Structure of Safety Goals for Nuclear Installations, IAEA-TECDOC-1874, IAEA, Vienna (2019).
- [13] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Considerations on Performing Integrated Risk Informed Decision Making, IAEA-TECDOC-1909, IAEA, Vienna (2020).
- [14] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Лидерство и менеджмент для обеспечения безопасности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 2, МАГАТЭ, Вена (2017),
<https://www.iaea.org/ru/publications/11110/liderstvo-i-menedzhment-dlya-obespecheniya-bezopasnosti>.
- [15] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Risk Aggregation for Nuclear Installations, IAEA-TECDOC-1983, IAEA, Vienna (2021).
- [16] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Multi unit Probabilistic Safety Assessment, Safety Reports Series No. 110, IAEA, Vienna (2023).
- [17] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Human Reliability Analysis for Nuclear Installations, IAEA, Vienna (в стадии подготовки).
- [18] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, EPRI/NRC RES Fire Human Reliability Analysis Guidelines – Final Report, Rep. NUREG-1921, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA (2012).
- [19] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety Related Terms for Advanced Nuclear Plants, IAEA-TECDOC-626, IAEA, Vienna (1991).
- [20] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Progress in Methodologies for the Assessment of Passive Safety System Reliability in Advanced Reactors, IAEA-TECDOC-1752, IAEA, Vienna (2014).
- [21] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Failure Modes Taxonomy for Reliability Assessment of Digital Instrumentation and Control Systems for Probabilistic Risk Analysis, Rep. NEA/CSNI/R(2014)16, OECD/NEA, Paris (2015).
- [22] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Dependability Assessment of Software for Safety Instrumentation and Control Systems at Nuclear Power Plants, IAEA Nuclear Energy Series No. NP-T-3.27, IAEA, Vienna (2018).
- [23] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Проектирование систем контроля и управления для атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-39, МАГАТЭ, Вена (2018).
- [24] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Оценка площадок для ядерных установок, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSR-1, МАГАТЭ, Вена (2019).
- [25] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Design of Nuclear Installations Against External Events Excluding Earthquakes, IAEA Safety Standards Series No. SSG-68, IAEA, Vienna (2021).
- [26] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Hazards Associated with Human Induced External Events in Site Evaluation for Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series No. SSG-79, IAEA, Vienna (2023).

- [27] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series No. SSG-9 (Rev. 1), IAEA, Vienna (2022).
- [28] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Учет метеорологических и гидрологических опасностей при оценке площадок для ядерных установок, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-18, МАГАТЭ, Вена (2023).
- [29] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Methodologies for Seismic Safety Evaluation of Existing Nuclear Installations, Safety Reports Series No. 103, IAEA, Vienna (2020).
- [30] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, Identification of External Hazards for Analysis in Probabilistic Risk Assessment: Update of Report 1022997, EPRI, Technical Report 3002005287, Palo Alto, CA (2015).
- [31] DECKER, K., BRINKMAN, H., List of External Hazards to be Considered in ASAMPSA_E, Technical Report ASAMPSA_E/WP21/D21.2/2017-41, University of Vienna, Vienna (2016).
- [32] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Assessment of Vulnerabilities of Operating Nuclear Power Plants to Extreme External Events, IAEA-TECDOC-1834, IAEA, Vienna (2017).
- [33] UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, EPRI/NRCRES Fire PRA Methodology for Nuclear Power Facilities – Final Report, Rep. NUREG/CR 6850, EPRI 1011989, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA (2005).
- [34] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Защита от внутренних и внешних опасностей при эксплуатации атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-77, МАГАТЭ, Вена (2024).
- [35] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Probabilistic Safety Assessment for Seismic Events, IAEA-TECDOC-1937, IAEA, Vienna (2020).
- [36] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Учет вулканических опасностей при оценке площадок для ядерных установок, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-21, МАГАТЭ, Вена (2023).
- [37] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, Methodology for Seismically Induced Internal Fire and Flood Probabilistic Risk Assessment, EPRI Technical Report 3002012980, EPRI, Palo Alto, CA (2018).
- [38] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Level 1 Probabilistic Safety Assessment Practices for Nuclear Power Plants with CANDU Type Reactors, IAEA-TECDOC-1977, IAEA, Vienna (2021).
- [39] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Безопасность атомных электростанций: ввод в эксплуатацию и эксплуатация, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSR-2/2 (Rev. 1), МАГАТЭ, Вена (2017).
- [40] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Attributes of Full Scope Level 1 Probabilistic Safety Assessment (PSA) for Applications in Nuclear Power Plants, IAEA-TECDOC-1804, IAEA, Vienna (2016).

- [41] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Applications of Probabilistic Safety Assessment (PSA) for Nuclear Power Plants, IAEA-TECDOC-1200, IAEA, Vienna (2001).
- [42] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Оценка безопасности вывода из эксплуатации установок, в которых используется радиоактивный материал, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № WS-G-5.2, МАГАТЭ, Вена (2015).
- [43] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Периодическое рассмотрение безопасности атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-25, МАГАТЭ, Вена (2016).
- [44] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Risk Informed In service Inspection of Piping Systems of Nuclear Power Plants: Process, Status, Issues and Development, IAEA Nuclear Energy Series No. NP-T-3.1, IAEA, Vienna (2010).
- [45] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Классификация конструкций, систем и элементов атомных электростанций по безопасности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-30, МАГАТЭ, Вена (2023).

Приложение I

ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ

В таблице I–1 приведен пример обобщенного перечня потенциальных внешних опасностей. Он основывается на отчете ASAMPSA_E [I–1], в котором содержится исчерпывающий перечень внешних опасностей, подлежащих рассмотрению в рамках вероятностного анализа безопасности (ВАБ) для атомных электростанций. Более подробную информацию можно найти в [I–1].

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ
ОПАСНОСТЕЙ

Код	Опасность	Определение опасности и ее воздействие	Взаимодействия и комментарии
Внешние природные опасности			
Сейсмические опасности			
N1	Вибрационные колебания грунта	Опасность определяется как одновременное воздействие вибрационных колебаний грунта на все строительные конструкции и КСЭ станции и прилегающей территории.	Следует рассмотреть воздействия продолжительных колебаний грунта и толчков после основного землетрясения.
N2	Вибрационные колебания грунта, вызванные или спровоцированные деятельностью человека (добыча нефти, газа или подземных вод, разработка полезных ископаемых открытым способом, обвалы шахт)	Опасность определяется как одновременное воздействие вибрационных колебаний грунта на все строительные конструкции и КСЭ станции и прилегающей территории.	

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ (продолжение)

Код	Опасность	Определение опасности и ее воздействие	Взаимодействия и комментарии
N3	Поверхностные сбросы (возможность образования сброса)	Опасность определяется как воздействие на станцию косейсмического сбросового разрыва и дислокации поверхности. Сюда также относится сбросовый разрыв вследствие вторичных сбросов.	
N4	Разжижение, горизонтальный оползень	Опасность определяется как потеря прочности на сдвиг грунта основания и ее воздействие на строительные конструкции и подземные сооружения, такие как трубопроводы или кабельные лотки.	
N5	Динамическое уплотнение (проседание грунта, вызванное сейсмическим воздействием)	Опасность определяется как последствия проседания грунта для строительных конструкций и подземных сооружений, таких как трубопроводы или кабельные лотки. В том числе образование трещин на поверхности, вызванных сейсмическим воздействием.	
N6	Остаточные перемещения грунта вследствие землетрясения	Опасность определяется как воздействие на станцию остаточного проседания или вспучивания грунта вследствие высвобождения энергии напряжения после землетрясения.	Проседание грунта (N63) и вспучивание грунта (N64) вследствие других геологических процессов рассматриваются отдельно.

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ (продолжение)

Код	Опасность	Определение опасности и ее воздействие	Взаимодействия и комментарии
Гидрологические опасности			
N7	Цунами (сейсмические, вулканические, подводные оползни, удары метеорита)	Опасность определяется как наводнение, вызванное серией волн и понижением уровня воды при откатах волны.	Землетрясения (N1), оползни (N60, N61) и вулканические опасности (N68, N69) рассматриваются отдельно.
N8	Ливневый паводок: затопление вследствие локальных экстремальных осадков	Опасность определяется как ущерб, наносимый станции затоплением, вызванным экстремальными осадками.	Повреждения вследствие дождевых нагрузок на конструкции рассматриваются отдельно (N25).
N9	Затопление вследствие таяния снега	Опасность определяется как затопление, вызванное сезонным или быстрым таянием снега.	Быстрое таяние снега под воздействием вулканических явлений рассматривается отдельно (N68).
N10	Затопление из-за выпадения осадков за пределами площадки и попадания воды на площадку (в том числе речные паводки)	Опасность определяется как ущерб, наносимый станции затоплением водой, попадающей извне на территорию площадки.	
N11	Высокий уровень грунтовых вод	Опасность определяется как ущерб, наносимый станции затоплением вследствие высокого уровня грунтовых вод.	

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ (продолжение)

Код	Опасность	Определение опасности и ее воздействие	Взаимодействия и комментарии
N12	Затопление или низкий уровень воды, вызванные блокированием речного русла (ниже или выше по течению) вследствие оползня, льда или заторов из-за бревен/обломков или вулканической активности	Опасность определяется как наводнение вследствие затопления ниже по течению реки или прорыва перекрытия водотока выше по течению реки, а также как низкий уровень воды из-за перекрытия водотока выше по течению реки.	
N13	Затопление или низкий уровень воды вследствие изменений речного русла из-за эрозии, образования отложений или отвода реки	Опасность определяется как затопление вследствие изменений речного русла или как низкий уровень воды, вызванный подобными явлениями.	Неустойчивость береговой линии вследствие эрозии рассматривается отдельно (N23).
N14	Затопление, вызванное большими волнами во внутренних водах вследствие вулканической активности, оползня, лавины или крушения самолета в водном бассейне	Опасность определяется как затопление вследствие больших волн во внутренних водах.	Затопление вследствие ветрового волнения рассматривается отдельно (N19).
N15	Затопление и волны, вызванные неисправностью регулирующих или сдерживающих водоток сооружений (неработоспособность дамбы, плотины или мола)	Опасность определяется как затопление из-за неисправности дамб, плотин и иных сдерживающих водоток сооружений (например, вследствие гидрологического или сейсмического воздействия).	

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ (продолжение)

Код	Опасность	Определение опасности и ее воздействие	Взаимодействия и комментарии
N16	Сейши	Опасность определяется как затопление вследствие колебаний уровня воды из-за стоячих волн в закрытых или частично закрытых водоемах.	Воздействие сейшей может усугублять иные опасные явления, такие как цунами или приливы.
N17	Приливная волна	Опасность определяется как затопление из-за приливной волны (волн, поднимающихся вверх по реке из-за приливного течения или вследствие водохозяйственных мероприятий).	
N18	Уровень воды в море: прилив, весеннее половодье	Опасность определяется как затопление вследствие прилива или весеннего половодья.	
N19	Уровень воды в море, озере или реке: ветровые волны	Опасность определяется как затопление вследствие ветровых волн, в том числе из-за длиннопериодных, короткопериодных волн и из-за аномальных волн (белых волн).	
N20	Уровень воды в море: штормовой нагон	Опасность определяется как затопление, вызванное штормовым нагоном воды.	
N21	Уровень воды в море, озере или реке: воздействие искусственных сооружений (волнорезы, плотины, дамбы)	Опасность определяется как затопление, вызванное или усиленное гидрологическим воздействием искусственных сооружений.	

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ (продолжение)

Код	Опасность	Определение опасности и ее воздействие	Взаимодействия и комментарии
N22	Коррозия под воздействием соленой воды	Опасность определяется как воздействие на станцию коррозии, вызванной контактом с соленой водой.	
N23	Неустойчивость береговой линии из-за эрозии, вызванной сильным течением или накоплением отложений (море и реки)	Опасность определяется как повреждение конструкций станции вследствие эрозии или накопления отложений из-за сильного течения.	
N24	Подводный мусор	Опасность определяется как повреждение или засорение систем забора или отвода охлаждающей воды, ухудшающее работоспособность КПП. Опасность может быть результатом переносимых водой отложений.	Воздействие льда на водозаборные сооружения рассматривается отдельно (N48).
Метеорологические опасности			
N25	Осадки (дождь или снег), снежный покров	Опасность определяется как ущерб для станции вследствие экстремальных осадков в виде дождя или снега. В том числе повреждения вследствие дождевой или снежной нагрузки на конструкции.	Затопления вследствие сильного дождя (N8) или таяния снега (N9) рассматриваются отдельно.
N26	Экстремальные (высокие и низкие) значения температуры воздуха	Опасность определяется как воздействие на станцию экстремально высоких температур (например, выход из строя систем вентиляции) или низких температур (например, обледенение труб).	Воздействие высоких/ низких температур воды (N28) или льда рассматривается отдельно.

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ (продолжение)

Код	Опасность	Определение опасности и ее воздействие	Взаимодействия и комментарии
N27	Экстремальные (высокие и низкие) значения температуры грунта	Опасность определяется как воздействие на станцию высоких или низких температур грунта (например, обледенение труб).	Воздействие экстремального промерзания грунта рассматривается отдельно (N38).
N28	Экстремальные (высокие или низкие) значения температуры охлаждающей воды (моря, озера, реки)	Опасность определяется как воздействие на станцию высокой или низкой температуры охлаждающей воды.	Замерзание (наледь: N48; ледяные барьеры: N50) и шуга (N49) рассматриваются отдельно.
N29	Влажность (высокая и низкая), экстремальное содержание влаги в воздухе	Опасность определяется как воздействие влаги на работоспособность относящегося к безопасности оборудования и электронных приборов (оборудования СКУ) (например, из-за капель конденсата на электрических и электронных приборах).	
N30	Экстремальные значения атмосферного давления	Опасность определяется как воздействие на станцию высокого или низкого атмосферного давления или быстрых скачков давления, которые могут повлиять на манометры (например, внутри гермооболочки), приведя к их случайному срабатыванию.	

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ (продолжение)

Код	Опасность	Определение опасности и ее воздействие	Взаимодействия и комментарии
N31	Экстремальная засуха: низкий уровень воды в реке или озере	Опасность определяется как затяжной период засухи, который снижает уровень воды в реках, озерах и открытых водоемах, затрудняя доступ к охлаждающей и технической воде.	Высокая температура воздуха (N26) и высокая температура воды (N28) рассматриваются отдельно. Крайне низкие уровни подземных вод рассматриваются отдельно (N32).
N32	Низкий уровень подземных вод	Опасность определяется как затрудненный доступ к охлаждающей или технической воде из-за низкого уровня подземных вод.	
N33	Низкий уровень воды в море	Опасность определяется как воздействие низкого уровня воды в море на систему охлаждения станции.	Опасность включает в себя воздействие отливов, прибрежных ветров, высокого атмосферного давления и аномальных изменений течения.
N34	Обледенение, ледяной туман	Опасность определяется как воздействие обледенения в результате ледяного дождя или тумана. Включает нагрузку на сооружения (линии электропередач и распределительные устройства) и закупоривание воздухозаборников льдом.	
N35	Изморозь, твердый налет льда, иней	Опасность определяется как воздействие изморози, в том числе на линии электропередач и распределительные устройства, а также заиндевение воздухозаборников.	

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ (продолжение)

Код	Опасность	Определение опасности и ее воздействие	Взаимодействия и комментарии
N36	Град	Опасность определяется как ущерб, наносимый станции экстремальным градом. Включает повреждения конструкций градинами и градовую нагрузку.	Затопление из-за таяния града ограничивается подтоплением из-за дождя и таяния снега (N8, N9). Считается, что возможные воздействия на КПП ограничиваются опасностью образования наледи (N48).
N37	Вечная мерзлота	Опасность определяется как воздействие оттаивания и повторного замерзания вечной мерзлоты.	
N38	Периодическое промерзание почвы	Опасность определяется как воздействие промерзания почвы (например, на неглубокие подземные сооружения, такие как водопровод).	
N39	Молния (в том числе электромагнитные помехи)	Опасность определяется как повреждение станции вследствие удара молнии. Воздействие может быть прямым, в виде повреждения конструкций или потери внешнего энергоснабжения, либо косвенным, в виде возгорания электромагнитного фидера, вызванного молнией.	Пожар, вызванный молнией, ограничивается анализом внешних пожаров (N73, M24) и внутреннего пожара.

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ (продолжение)

Код	Опасность	Определение опасности и ее воздействие	Взаимодействия и комментарии
N40	Сильные ветры, шторм (в том числе ураган, тропический циклон, тайфун)	Опасность определяется как ущерб, наносимый станции вследствие прямого воздействия сильных ветров и ветрового давления.	Опасность не включает торнадо (N41) из-за уникальных характеристик подобного явления. Опасность не включает дифференцирующие эффекты снежных, соляных и песчаных бурь. Однако ветровое воздействие этих опасностей здесь учитывается. Затопление вследствие штормового нагона воды рассматривается отдельно (N20). Опасности, исходящие от перемещаемых ветром предметов, рассматриваются отдельно (N46).
N41	Торнадо	Опасность определяется как ущерб, наносимый станции торнадо. Включает воздействие разности давлений и вихревого ветра.	Эта опасность рассматривается отдельно от других сильных ветров (N40) ввиду особых характеристик торнадо с точки зрения продолжительности, скорости ветра и частоты возникновения. Ущерб от переносимых ветром предметов рассматривается отдельно (N46).
N42	Водяной смерч (смерч, вызванный торнадо)	Опасность определяется как воздействие энергии вращения. Смерчи содержат водяной пар (т.е. воду не в жидком состоянии).	

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ (продолжение)

Код	Опасность	Определение опасности и ее воздействие	Взаимодействия и комментарии
N43	Пурга, снежная буря	Опасность определяется как воздействие на станцию снега, переносимого ветром. Включает загрязнение внешней высоковольтной изоляции на линиях электропередач и распределительных устройствах, а также забивание воздухозаборников.	Воздействие давления ветра из-за снежных бурь рассматривается в рамках опасности, связанной с сильным ветром (N40). Снеговая нагрузка рассматривается отдельно (N25).
N44	Песчаная буря, пыльная буря	Опасность определяется как воздействие на станцию песка или пыли при буре, а также их абразивный эффект. Включает загрязнение внешней высоковольтной изоляции на линиях электропередач и распределительных устройствах, а также забивание воздухозаборников.	Воздействие давления ветра вследствие песчаных бурь рассматривается в рамках опасности, связанной с сильным ветром (N40).
N45	Соляной туман, соляная буря	Опасность определяется как буря с осаджением соли на поверхности конструкций станции и их коррозией вследствие наличия соли в воздухе. Включает загрязнение внешней высоковольтной изоляции на линиях электропередач и распределительных устройствах, а также пробой диэлектрика из-за частиц соли.	Воздействие давления ветра из-за соляных бурь рассматривается в рамках опасности, связанной с сильным ветром (N40).

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ (продолжение)

Код	Опасность	Определение опасности и ее воздействие	Взаимодействия и комментарии
N46	Обломки, переносимые ветром (внешние летящие предметы)	Опасность определяется как повреждение от удара переносимыми ветром предметами вследствие сильных ветров и торнадо.	Типичные летящие предметы: облицовочные панели, изолированный и неизолированный алюминий, доски и столбы строительных лесов, деревья и машины.
N47	Снежная лавина	Опасность определяется как воздействие на станцию лавин.	Лавины могут быть вызваны сильными снегопадами или таянием снега.
N48	Поверхностный лед на реках, озерах или морях	Опасность определяется как повреждение или засорение системы забора или отвода охлаждающей воды плавающим льдом или толстым поверхностным льдом, ухудшающее работоспособность КПП.	Шуга (N49) и ледяные барьеры (N50) рассматриваются отдельно.
N49	Шуга	Опасность определяется как воздействие шуги на систему забора охлаждающей воды или на речные плотины.	
N50	Ледяные барьеры	Опасность определяется как воздействие на станцию ледяных барьеров (например, забивание водозабора).	Затопление из-за ледяных барьеров ниже по течению рассматривается отдельно (N12).
N51	Туман	Опасность определяется как воздействие тумана на станцию, линии электропередач и распределительные устройства. Включает снижение видимости на площадке.	

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ (продолжение)

Код	Опасность	Определение опасности и ее воздействие	Взаимодействия и комментарии
Опасности внеземного происхождения			
N52	Вспышки на солнце, солнечные бури (космическая погода): геомагнитные бури.	Опасность определяется как неисправность или повреждение электрического и электронного оборудования в результате электромагнитных помех и выхода из строя наземной электросети.	
N72	Падение метеорита	Опасность определяется как ущерб, нанесенный станции в результате удара метеорита (прямое воздействие, ударные волны, вибрационное воздействие, пожар).	Затопление вследствие цунами, вызванного падением метеорита, рассматривается отдельно (N7).
Биологические опасности			
N53	Заращение моря/реки/озера (морская трава, водоросли), биологическое обрастание	Опасность определяется как быстрый рост водорослей, морской травы или бактерий, затрудняющий забор охлаждающей воды из КПП.	
N54	Наращение ракообразных или моллюсков (креветки, моллюски, мидии, раковины)	Опасность определяется как засорение прикрепляющимися морскими организмами системы забора или отвода воды, затрудняющее забор охлаждающей воды из КПП.	

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ (продолжение)

Код	Опасность	Определение опасности и ее воздействие	Взаимодействия и комментарии
N55	Рыбы, медузы	Опасность определяется как неработоспособность КПП вследствие засорения водозабора чрезмерным количеством рыб/медуз или в связи с аномальной популяцией рыб в пруду-охладителе.	Засорение морской травой (N53) и плавающим на поверхности биологическим мусором (N58) рассматривается отдельно.
N56	Стаи птиц, рои насекомых в воздухе или поднимаемые в воздух листья	Опасность определяется как ущерб для станции вследствие забивания воздухозаборника птицами или засорение фильтров вентиляционных систем листьями или насекомыми. Включает в себя засорение воздухозаборника аварийных дизель-генераторов.	
N57	Размножение грызунов и иных животных	Опасность определяется как повреждение грызунами (крысы, мыши) кабелей или проводки и разрушение сооружений вследствие подкапывания роющими млекопитающими.	
N58	Биологический мусор, плавающий на поверхности (древесина, листва, трава)	Опасность определяется как повреждение или засорение системы забора или отвода охлаждающей воды, ухудшающее работоспособность КПП, вследствие скопления большого количества биологического мусора.	

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ (продолжение)

Код	Опасность	Определение опасности и ее воздействие	Взаимодействия и комментарии
N59	Микробиологическая коррозия	Опасность определяется как ущерб для станции вследствие микробиологической коррозии.	
Геологические опасности			
N60	Неустойчивость поверхностных склонов (оползни, осыпи; в том числе явления, возникающие по метеорологическим и сейсмическим причинам)	Опасность определяется как воздействие на станцию оползней или осыпей, в том числе возможное засорение системы забора или отвода охлаждающей воды, ухудшающее работоспособность КПП.	Воздействие движения масс, вызывающих наводнение вследствие блокирования водотоков (N12) или вследствие цунами на морях и озерах (N7), рассматриваются отдельно.
N61	Подводные оползни, гравитационный поток (в том числе явления, возникающие по сейсмическим причинам)	Опасность определяется как воздействие подводных оползней на станцию.	Подводные оползни могут быть вызваны причинами надводного происхождения, такими как длительное и интенсивное выпадение осадков. Подводная эрозия (N23) и цунами, вызванное оползнем (N7), рассматриваются отдельно.
N62	Селевой поток, грязевой поток (в том числе явления, возникающие по сейсмическим причинам)	Опасность определяется как воздействие на станцию селевых или грязевых потоков. Следствием может стать засорение сооружений для забора или отвода охлаждающей воды.	Опасность, связанная с лахарами, рассматривается в рамках вулканических опасностей (N68).
N63	Проседание грунта (естественное или антропогенное вследствие горной добычи, откачки подземных вод, добычи нефти и газа)	Опасность определяется как воздействие проседания грунта на станцию.	

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ (продолжение)

Код	Опасность	Определение опасности и ее воздействие	Взаимодействия и комментарии
N64	Вспучивание грунта	Опасность определяется как воздействие вспучивания грунта на станцию.	
N65	Карст, выщелачивание растворимых пород (известняка, гипса, ангидрита, галита)	Опасность определяется как воздействие на станцию образования расщелин, воронок, подземных течений и пещер, возникающих вследствие химической эрозии.	
N66	Воронки (обвал пещер естественного и антропогенного происхождения)	Опасность определяется как воздействие на станцию образования воронок вследствие подземных обвалов.	
N67	Неустойчивые грунты (например, плывунная глина)	Опасность определяется как воздействие на станцию неустойчивых грунтов.	

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ (продолжение)

Код	Опасность	Определение опасности и ее воздействие	Взаимодействия и комментарии
N68	Вулканические опасности: явления, возникающие вблизи эпицентра извержения	Опасность определяется как воздействие на станцию следующих явлений: открытие жерла вулкана, выброс «вулканических бомб», выброс пирокластических материалов, таких как пепел, тефра, лапилли, пемза; потоки пирокластических материалов; потоки лавы; оползни из обломков, лавины и обвалы склонов; лахары, маары и наводнения вследствие таяния снега; ударная волна и молнии; выбросы газов (в том числе «раскаленная лавина»); деформация почвы; геотермальные аномалии и аномалии подземных вод; лесной пожар, возникший из-за вулканической активности.	Многообразные вулканические явления требуют рассмотрения по отдельности. Землетрясения (N1) и цунами, вызванные вулканической активностью (N7), рассматриваются отдельно.
N69	Вулканические опасности: воздействия, затрагивающие районы, удаленные от эпицентра извержения	Опасность определяется как воздействие на станцию вулканических явлений, таких как выброс пепла.	Землетрясения (N1) и цунами (N7), вызванные вулканической активностью, рассматриваются отдельно.
N70	Выделение метана	Опасность определяется как воздействие на станцию выделения метана из грунтов или горной породы.	
N71	Естественная радиация	Опасность определяется как воздействие естественной радиации на станцию.	

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ (продолжение)

Код	Опасность	Определение опасности и ее воздействие	Взаимодействия и комментарии
Природные пожары			
N73	Лесные пожары, низовые пожары, горящие торфяники	Опасность определяется как повреждения на станции или потеря внешнего энергоснабжения вследствие пожара или ошибочных действий оператора под воздействием дыма и токсичных газов. Включает опасность новых возгораний из-за искр и выделения продуктов горения.	Данная опасность может быть результатом экстремальных метеорологических условий (высокие температуры, засуха или штормы). Пожары антропогенного характера рассматриваются отдельно (M24).
Внешние опасности антропогенного характера			
Аварии на промышленном предприятии			
M1	Авария на промышленном предприятии: взрыв	Опасность определяется как повреждения на станции в результате взрывов (дефлаграции или детонации) твердых веществ, жидкостей или газов, которые приводят к повреждениям на станции, потере внешнего энергоснабжения или неправильным действиям оператора. Повреждения также могут быть результатом воздействия ударной волны или летящих предметов.	Данная опасность в наибольшей степени свойственна предприятиям, где предусмотрено хранение химических веществ и топлива (нефтеперерабатывающий завод, химический завод, склад и иные ядерные объекты). Взрывы, связанные с перевозкой (M11), и аварии на трубопроводе (M13) рассматриваются отдельно. Пожары вследствие аварии на производстве рассматриваются отдельно (M24).

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ (продолжение)

Код	Опасность	Определение опасности и ее воздействие	Взаимодействия и комментарии
M2	Авария на промышленном предприятии: выброс химических веществ (взрывоопасных, горючих, удушающих, токсичных, коррозионно-активных или радиоактивных)	Опасность определяется как воздействие выброса химических веществ с промышленного предприятия, которое приводит к повреждениям на станции или неправильным действиям оператора под воздействием взрывчатых, горючих, удушающих, токсичных, коррозионно-активных или радиоактивных веществ. Для данной опасности также учитывается воздействие сбросов химических веществ в воду (например, ухудшение качества воды).	Данная опасность в наибольшей степени свойственна предприятиям, где предусмотрено хранение химических веществ и топлива (нефтеперерабатывающий завод, химический завод, склад и иные ядерные объекты). Опасности вследствие аварий при перевозке (M12) или аварий на трубопроводе (M14) рассматриваются отдельно.
M3	Летающие обломки высокоэнергетического вращающегося оборудования	Опасность определяется как воздействие в результате удара летающими обломками высокоэнергетического вращающегося оборудования.	
Аварии, связанные с военной деятельностью			
M4	Военные объекты (постоянные и временные): взрыв, летающие предметы, осколки и пожары	Опасность определяется как воздействие аварий на военных объектах, таких как взрывы, разрыв снарядов (шрапнель) или возникновение летающих предметов.	Выбросы химических веществ с военных объектов рассматриваются отдельно (M5). Пожар на военном объекте рассматривается вместе с опасностью пожара антропогенного/ техногенного происхождения (M24).

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ (продолжение)

Код	Опасность	Определение опасности и ее воздействие	Взаимодействия и комментарии
M5	Военные объекты (постоянные и временные): выброс химических веществ (взрывчатых, горючих, удушающих, токсичных, коррозионно-активных или радиоактивных)	Опасность определяется как воздействие выбросов с военных объектов, которое ведет к повреждениям на станции или неправильным действиям оператора вследствие выброса взрывчатых, горючих, удушающих, токсичных, коррозионно-активных или радиоактивных веществ.	
M6	Военные действия	Опасность определяется как повреждения на станции в результате военных действий.	Следует учитывать как минимум взрывы и пожары, возникающие вследствие военных действий.
Транспортные аварии			
M7	Аварии с участием судов: прямое столкновение	Опасность определяется как прямое столкновение судов.	Столкновения с водозаборными сооружениями и элементами конечного поглотителя тепла рассматриваются отдельно (M8). Данная опасность не включает в себя последствий выбросов вследствие аварии на судне (взрыв, загрязнение, засорение водозабора или выброс токсичных газов). Эти опасности рассматриваются отдельно (M9, M11).

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ (продолжение)

Код	Опасность	Определение опасности и ее воздействие	Взаимодействия и комментарии
M8	Столкновения с водозаборными сооружениями и элементами конечного поглотителя тепла (судном, понтоном, рыболовной снастью)	Опасность определяется как повреждение или засорение системы водозабора и конструкций КПП вследствие столкновений (например, с судами, понтонами, рыболовными снастями).	Данная опасность не включает в себя последствий выбросов вследствие аварии на судне (взрыв, загрязнение, засорение водозабора или выброс токсичных газов). Эти опасности рассматриваются отдельно (M9, M11).
M9	Аварии с участием судов: сброс твердых или жидких (не газообразных) загрязняющих веществ	Опасность определяется как повреждение или засорение системы водозабора и конструкций КПП вследствие сбросов в воду с судов загрязняющих веществ (нефти, коррозионно-активных жидкостей), которые могут негативно отразиться на доступности и качестве охлаждающей воды, а также на ее теплообменной способности.	
M10	Авария на наземном транспорте: прямое столкновение	Опасность определяется как прямое столкновение поездов и вагонов и автотранспортных средств за пределами площадки.	Данная опасность не охватывает последствия выбросов в связи с транспортными авариями (взрыв, загрязнение, засорение воздухозаборника или выброс токсичных газов). Данные опасности рассматриваются отдельно (M11, M12).

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ (продолжение)

Код	Опасность	Определение опасности и ее воздействие	Взаимодействия и комментарии
M11	Авария на наземном транспорте: взрыв, пожар	Опасность определяется как повреждения на станции в результате взрыва, вызванного авариями на наземном транспорте или авариями на морском, озерном или речном транспорте. Повреждения также могут быть результатом воздействия ударной волны или летящих предметов.	Следствие других опасностей (другая первопричина). Опасности, связанные с крушением воздушного судна (M15, M16) или аварией на трубопроводе (M13), рассматриваются отдельно. Токсичное воздействие вследствие выброса химических веществ рассматривается отдельно (M12).
M12	Транспортная авария: выброс химических веществ (взрывчатых, горючих, удушающих, токсичных, коррозионно-активных или радиоактивных)	Опасность определяется как воздействие в результате выбросов химических веществ после аварий на наземном транспорте или аварий на морском, озерном или речном транспорте, которые негативно влияют на станцию как внешне, так и внутренне, повреждая или ухудшая работу систем безопасности и отражаясь на действиях оператора. Выбросы могут быть результатом транспортных аварий, разливов и утечек перевозимых веществ.	

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ (продолжение)

Код	Опасность	Определение опасности и ее воздействие	Взаимодействия и комментарии
Аварии на трубопроводе			
M13	Авария на трубопроводе за пределами площадки: взрыв, пожар	Опасность определяется как ущерб для станции в результате взрывов (дефлаграции или детонации) после аварий на трубопроводе (в том числе на насосных станциях) за пределами площадки. Повреждение может быть результатом воздействия ударной волны или летящих предметов.	Воздействие выброса химических веществ рассматривается отдельно (M14).
M14	Авария на трубопроводе за пределами площадки: выброс химических веществ	Опасность определяется как воздействие выбросов химических веществ после аварии на трубопроводе (включая насосные станции), которые негативно влияют на станцию как внешне, так и внутренне, повреждая или ухудшая работу систем безопасности и отражаясь на действиях оператора.	Воздействие взрывов вследствие аварий на трубопроводе рассматривается отдельно (M13).
Аварии, связанные с воздушными судами			
M15	Крушение воздушного судна: территория аэропорта	Опасность определяется как повреждения на станции из-за нештатных ситуаций во время полетов воздушных судов, ведущих к их крушению. Повреждения могут быть причинены вследствие прямого удара, взрыва, возникновения летящих предметов, горения (керосин), дыма (токсичного) и вызванной ударом вибрации.	Данная опасность зависит от частоты полетов, характеристик взлетно-посадочной полосы, а также характеристик и типов воздушных судов. Воздушное судно может быть коммерческим, частным или военным.

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ (продолжение)

Код	Опасность	Определение опасности и ее воздействие	Взаимодействия и комментарии
M16	Крушение воздушного судна: коридоры воздушного движения и полетные зоны (военные/гражданские/сельскохозяйственные)	Опасность определяется как повреждения на станции из-за нештатных ситуаций во время полетов воздушных судов, ведущих к их крушению. Повреждения могут быть причинены вследствие прямого удара, взрыва, возникновения летящих предметов, горения (керосин), дыма (токсичного) и вызванной ударом вибрации.	Данная опасность зависит от частоты полетов, характеристик коридоров воздушного движения, а также характеристик и типов воздушных судов. Воздушное судно может быть коммерческим, частным или военным.
M17	Падение спутника	Опасность определяется как повреждения на станции в результате падения спутника. Повреждения могут быть причинены вследствие прямого удара, вызванной ударом вибрации или ударной волны.	
Прочие внешние опасности антропогенного характера			
M18	Земляные и строительные работы	Опасность определяется как воздействие на станцию земляных и строительных работ за пределами площадки, в том числе с нарушением целостности подземных кабелей и трубопроводов, что может привести к разрыву подземных коммуникаций или выбросу взрывчатых, горючих, удушающих, токсичных или коррозионно-активных веществ.	

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ (продолжение)

Код	Опасность	Определение опасности и ее воздействие	Взаимодействия и комментарии
M19	Нестабильность внешней энергосети	Опасность определяется как воздействие помех, возникающих при выполнении манипуляций на энергосети и распределительных устройствах за пределами станции. Опасность включает в себя помехи во внешней энергосети, ведущие к скачкам напряжения.	
M20	Промышленное загрязнение высоковольтной изоляции открытых распределительных устройств и силовых линий	Опасность определяется как воздействие промышленного загрязнения (пыли, выбросов химических веществ) на высоковольтную изоляцию открытых распределительных устройств.	
M21	Электромагнитные помехи, радиочастотные помехи или возмущения от источников вне площадки	Опасность определяется как воздействие искусственных магнитных или электрических полей, а также радиомagneticных возмущений, которые могут вызвать неисправность или повреждение оборудования или приборов, имеющих отношение к безопасности.	Основными примерами источников таких полей являются радары, системы радио- и мобильной телефонной связи или электрораспределительные устройства высокого напряжения.
M22	Вихревые токи высокого напряжения в землю (источники вне площадки)	Опасность определяется как коррозия подземных элементов заземляющего устройства и проблемы заземления.	

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ (продолжение)

Код	Опасность	Определение опасности и ее воздействие	Взаимодействия и комментарии
M23	Наводнение: неисправность затвора или плотины или неправильное управление данными сооружениями	Опасность определяется как ущерб для станции вследствие высокого уровня воды и волн, возникших в результате повреждения, неисправности гидротехнических сооружений из-за ошибки персонала или неправильного управления ими.	Данная опасность может рассматриваться в рамках опасности затопления вследствие неисправности гидротехнических сооружений (прорыв плотины), возникшей по естественным причинам (N15).
M24	Пожар антропогенного/ техногенного происхождения	Опасность определяется как повреждения на станции или потеря внешнего энергоснабжения в результате вызванных деятельностью человека лесных, природных или луговых пожаров либо пожаров в городской местности. Включает опасность, связанную с новыми возгораниями из-за искр, дымом, угарным газом и высокой температурой (тепловым потоком).	Пожар может возникнуть в результате аварии на производстве или занятий во внерабочее время.
M25	Прямое воздействие большегрузных перевозок в пределах площадки	Опасность определяется как повреждения на станции как результат прямого воздействия большегрузных перевозок в пределах площадки, но вне станционных зданий. Включает также транспортировку платформы для внешнего технического обслуживания гермооболочки.	Большегрузные перевозки внутри зданий станции рассматриваются как часть ВАБ для внутренних опасностей.

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ (продолжение)

Код	Опасность	Определение опасности и ее воздействие	Взаимодействия и комментарии
M26	Взрыв на площадке	Опасность определяется как повреждения на станции в результате взрывов (дефлаграции или детонации) твердых веществ или скоплений газов на площадке, но вне станционных зданий. Включает также взрыв вследствие разрыва трубопровода на площадке. Повреждения могут быть результатом воздействия ударной волны или летящих предметов.	Взрывы внутри зданий станции рассматриваются как часть ВАБ для внутренних опасностей.
M27	Пожар на площадке	Опасность определяется как повреждения на станции в результате пожара, затрагивающего площадку, но возникающего от источников за пределами площадки либо под воздействием иных природных явлений, таких как землетрясение.	
M28	Выброс химических веществ на площадке: взрывчатые, горючие, удушающие	Опасность определяется как воздействие выбросов химических веществ, которые влияют на станцию как внешне, так и внутренне, повреждая или ухудшая работу систем безопасности и отражаясь на действиях оператора.	Такие выбросы могут возникать вследствие технологических аварий внутри станции или утечки веществ, хранящихся на площадке, но вне станционных зданий. Выбросы химических веществ, хранящихся внутри зданий, рассматриваются как часть ВАБ для внутренних опасностей.

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ (продолжение)

Код	Опасность	Определение опасности и ее воздействие	Взаимодействия и комментарии
М29	Авария на трубопроводе в пределах площадки: взрыв, пожар	Опасность определяется как повреждения на станции в результате взрывов (дефлаграции или детонации) или пожара после аварии на трубопроводе в пределах площадки. Повреждения могут быть результатом воздействия ударной волны или летящих предметов.	Последствия выброса химических веществ после аварии на трубопроводе в пределах площадки рассматриваются отдельно. Последствия взрыва вследствие выброса за пределами площадки рассматриваются отдельно.
М30	Авария на трубопроводе в пределах площадки: выброс химических веществ (взрывчатых, горючих, удушающих, токсичных, коррозионно-активных или радиоактивных)	Опасность определяется как воздействие выбросов химических веществ после аварии на трубопроводе в пределах площадки, которые негативно влияют на станцию как внешне, так и внутренне, повреждая или ухудшая работу систем безопасности и отражаясь на действиях оператора.	Следствие других опасностей (иная первопричина). Воздействие взрыва вследствие аварии на трубопроводе рассматривается отдельно.
М31	Земляные и строительные работы в пределах площадки	Опасность определяется как воздействие на станцию земляных и строительных работ в пределах площадки, в том числе с нарушением целостности подземных кабелей и трубопроводов.	
М32	Стабильность энергосети в пределах площадки	Опасность определяется как воздействие колебаний электрического тока, возникающих при выполнении манипуляций на распределительных устройствах или энергосети в пределах станции.	

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ (продолжение)

Код	Опасность	Определение опасности и ее воздействие	Взаимодействия и комментарии
M33	Электромагнитные помехи, радиочастотные помехи или возмущения от источников в пределах площадки	Опасность определяется как воздействие на станцию искусственных магнитных или электрических полей, а также радиомагнитных возмущений, которые могут привести к неисправности или повреждению оборудования и приборов, имеющих отношение к безопасности.	Основными примерами источников таких полей являются системы радио- и мобильной телефонной связи.
M34	Вихревые токи высокого напряжения в землю (источники в пределах площадки)	Опасность определяется как коррозия подземных элементов заземляющего устройства и проблемы заземления.	
M35	Затопление содержимым резервуаров на площадке	Опасность определяется как воздействие затопления вследствие повреждения резервуаров на площадке.	
M36	Возникновение летящих предметов на других энергоблоках в пределах площадки	Опасность определяется как повреждения на станции от удара летящими предметами, источником которых является высокоэнергетическое вращающееся оборудование на другом энергоблоке или установке в пределах площадки.	
M37	Распространение внутреннего пожара от других энергоблоков на площадке	Опасность определяется как воздействие на станцию пожаров, возникающих на другом энергоблоке в пределах площадки.	Внешние пожары рассматриваются отдельно. Пожары, возникшие как вторичный эффект иных внешних опасностей, рассматриваются в рамках данных опасностей.

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕР ОБОБЩЕННОГО ПЕРЕЧНЯ ВНЕШНИХ ОПАСНОСТЕЙ (продолжение)

Код	Опасность	Определение опасности и ее воздействие	Взаимодействия и комментарии
М38	Внутренние затопления и неблагоприятные условия окружающей среды, распространяющиеся от других энергоблоков на площадке	Опасность определяется как ущерб для станции в результате распространения воды от других энергоблоков.	
М39	Воздействие аварий на других энергоблоках в пределах площадки	Опасность определяется как повреждения на станции в результате взрыва (например, водорода) или радиоактивных выбросов на других энергоблоках в пределах площадки.	

Примечание. Перечень опасностей составлен на основе [I–1]. Нумерация опасностей сохранена в том виде, в каком она приведена в [I–1], и скорректирована с учетом категорий природных и антропогенных опасностей, применяемых в настоящем Руководстве по безопасности. В таблицу не включены внутренние опасности, возникающие внутри зданий станции. КСЭ — конструкции, системы и элементы. КППТ — конечный поглотитель тепла.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ К ПРИЛОЖЕНИЮ I

[I–1] DECKER, K., BRINKMAN, H., List of External Hazards to be Considered in ASAMPSA_E, Technical Report ASAMPSA_E/WP21/D21.2/2017-41, University of Vienna, Vienna (2016).

Приложение II

ПРИМЕРЫ ДЕРЕВЬЕВ СОБЫТИЙ, СВЯЗАННЫХ
С ПОЖАРОМ, И ДЕРЕВЬЕВ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ
ДЕРЕВА СОБЫТИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ЛОКАЛИЗАЦИИ
И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА

II-1. Пример дерева событий, связанных с пожаром, представленный на рис. II-1, включает все соответствующие элементы начиная с возникновения пожара. Проводится различие между ранним и поздним

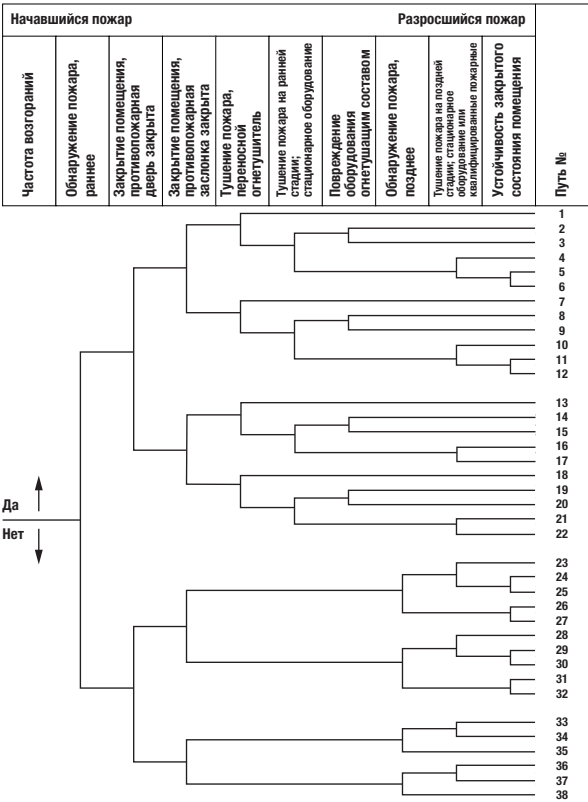


РИС. II-1. Пример общего дерева событий, связанных с пожаром.

обнаружением пожара, поскольку эти случаи связаны с разными вероятностями локализации и тушения пожара. С точки зрения распространения пожара важно, закрыто ли помещение и в какой степени. При последующем моделировании рассматривается имеющееся оборудование для борьбы с пожаром с учетом возможного повреждения средствами пожаротушения узлов, имеющих отношение к безопасности. На рис. II–1 приведен пример того, как метод построения дерева событий может быть использован для анализа локализации и распространения пожара.

ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ ДЕРЕВА СОБЫТИЙ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИСХОДНЫХ СОБЫТИЙ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

II-2. На рис. II–2 приведен пример того, как метод построения дерева событий может быть использован для моделирования различных последствий исходных событий сейсмического происхождения.

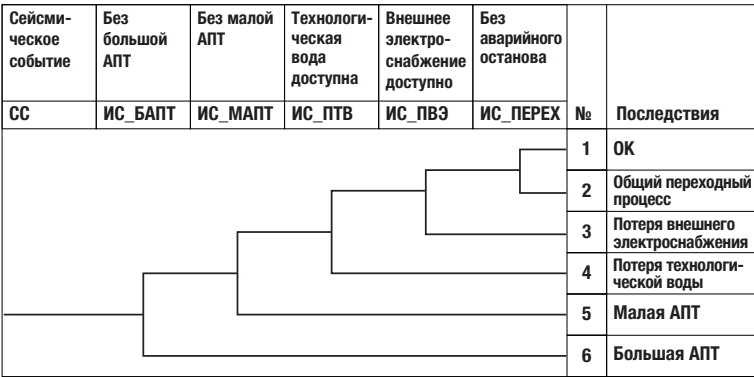


РИС. II–2. Пример дерева событий для моделирования исходного события сейсмического происхождения. АПТ — авария с потерей теплоносителя. ИС — исходное событие.

Приложение III

ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ВАБ ДЛЯ СОСТОЯНИЙ ОСТАНОВА

ПРИМЕРЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СОСТОЯНИЙ СТАНЦИИ И СВЯЗАННЫХ С НИМИ ИСХОДНЫХ СОБЫТИЙ

III-1. В рамках ВАБ для немецкого кипящего реактора типа SWR 69 была проведена вероятностная оценка состояний останова [III-1]. Схожий пример для станции с реактором с водой под давлением приведен в [III-2].

III-2. В настоящем приложении представлена информация, основанная на данных из [III-1], с целью проиллюстрировать, как может быть задано эксплуатационное состояние станции и как исходные события могут быть увязаны с различными эксплуатационными состояниями станции. Чтобы охарактеризовать изменения состояний, связанных с системой, и физических состояний, останов был разделен на разные состояния (см. рис. III-1 и таблицу III-1). Состояния выбирались таким образом, чтобы готовность системы и физические состояния были как можно более постоянными. Обычно во время останова (состояния с 3-1 по 3-7) в состоянии готовности находятся один из двух источников аварийного энергоснабжения, два из четырех каналов системы отвода остаточного тепловыделения и один из двух каналов аварийной резервной системы. В состоянии 3-4, в котором выполняется наибольший объем работ по техническому обслуживанию, необходимо, чтобы в состоянии готовности находилась система возврата протечек в приемке здания реактора.

III-3. В Германии была проведена подробная оценка опыта эксплуатации с целью идентификации событий, способных привести к исходным событиям или повлиять на управление авариями в состояниях останова. Кроме оценки немецкого опыта эксплуатации, была проведена оценка результатов международных ВАБ для состояний останова [III-3, III-4].

III-4. В качестве основы для идентификации исходных событий также использовалась немецкая документация с руководящими указаниями по проведению ВАБ [III-5, III-6].

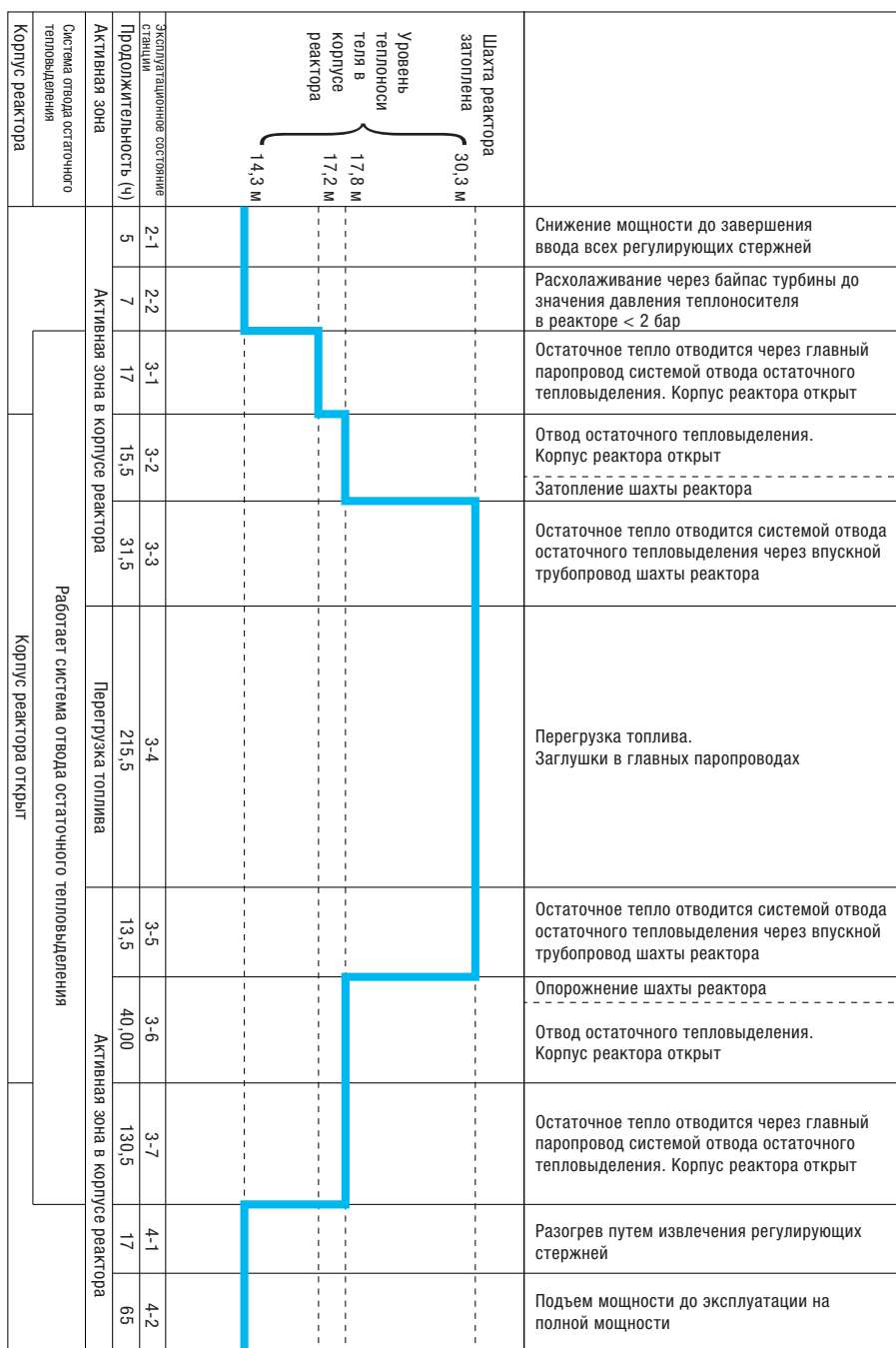


РИС. III-1. Уровень теплоносителя реактора во время останова.

III-5. Идентификация исходных событий и их привязка к эксплуатационным состояниям станции, при которых они могут произойти, позволили получить матрицу, приведенную в таблице III–2. Ячейки в таблице III–2, отмеченные знаком «X», указывают на то, что исходное событие может произойти в данном эксплуатационном состоянии станции. Как указано в пункте 9.13, решение относительно того, какие конечные состояния следует включить, принимается исходя из национальных вероятностных целей или критериев безопасности.

ТАБЛИЦА III–1. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СОСТОЯНИЯ СТАНЦИИ ВО ВРЕМЯ ОСТАНОВА СТАНЦИИ С РЕАКТОРОМ С ВОДОЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Эксплуатационное состояние станции		Характеристика эксплуатационного состояния станции
Отключение	2-1	Снижение мощности до тех пор, пока не будут введены все регулирующие стержни
	2-2	Расхолаживание через байпас турбины, пока давление теплоносителя в реакторе не снизится до < 2 бар; закрытие быстродействующих запорных отсечных клапанов; повышение уровня воды в реакторе выше основных паропроводов впрыском из системы отвода остаточного тепловыделения
Останов	3-1	Отвод остаточного тепла через основной паропровод системой отвода остаточного тепловыделения; корпус реактора закрыт; температура теплоносителя реактора 130–150°C
	3-2	Отвод остаточного тепла через основной паропровод системой отвода остаточного тепловыделения; корпус реактора открыт; температура теплоносителя реактора < 40°C; монтаж уплотнения шахты реактора; залив шахты реактора
	3-3	Шахта реактора затоплена; остаточное тепло отводится системой отвода остаточного тепловыделения через впускной трубопровод шахты реактора; открытие перегрузочного люка; установка заглушек на основных паропроводах

ТАБЛИЦА III–1. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СОСТОЯНИЯ СТАНЦИИ
ВО ВРЕМЯ ОСТАНОВА СТАНЦИИ С РЕАКТОРОМ С ВОДОЙ
ПОД ДАВЛЕНИЕМ (продолжение)

Эксплуатационное состояние станции	Характеристика эксплуатационного состояния станции
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 Отключение системы отвода остаточного тепловыделения; снижение уровня воды в реакторе ниже основных паропроводов; извлечение регулирующих стержней для разогрева
	4-2 Работа байпаса турбины, запуск турбогенератора; синхронизация; подъем мощности до эксплуатации на полной мощности

ТАБЛИЦА III–2. ИСХОДНЫЕ СОБЫТИЯ ВО ВРЕМЯ ОСТАНОВА СТАНЦИИ С РЕАКТОРОМ С ВОДОЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ (с указанием потери критических функций безопасности или механизма инициирования исходного события соответственно)

Исходное событие		Эксплуатационное состояние станции											
		Отключе- ние		Останов							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 электропитания собственных нужд	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	Незакрытый предохранительный клапан	X	X								X	X	
T6	Течь в бассейне-барботере		X		X								
T7	Избыточная подача основной питательной воды в корпус реактора	X	X										X
T8	Избыточная подача в корпус реактора от системы отвода остаточного тепловыделения		X										

ТАБЛИЦА III–2. ИСХОДНЫЕ СОБЫТИЯ ВО ВРЕМЯ ОСТАНОВА СТАНЦИИ С РЕАКТОРОМ С ВОДОЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ (с указанием потери критических функций безопасности или механизма инициирования исходного события соответственно) (продолжение)

Исходное событие		Эксплуатационное состояние станции										
		Отключе- ние			Останов						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
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
TA	Ожидаемый переходный процесс без срабатывания аварийной защиты	X									X	X
Аварии с потерей теплоносителя												
S1	Течь в корпусе реактора внутри гермооболочки:											
S1.1	из-за разрыва трубопровода:											
S1.1.1	над активной зоной (патрубок A)					X	X	X				
S1.1.2	под активной зоной (патрубок L)					X	X	X				
S1.2	вследствие ошибки персонала при:											
S1.2.1	обследовании арматуры главного паропровода						X					

ТАБЛИЦА III–2. ИСХОДНЫЕ СОБЫТИЯ ВО ВРЕМЯ ОСТАНОВА СТАНЦИИ С РЕАКТОРОМ С ВОДОЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ (с указанием потери критических функций безопасности или механизма инициирования исходного события соответственно) (продолжение)

Исходное событие		Эксплуатационное состояние станции									
		Отключе- ние					Останов				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
S1.2.2	обследовании арматуры на впрыске в активную зону и систем подпитки первого контура						X				
S1.2.3	извлечении вала циркуляционного насоса						X				
S1.2.4	обследовании приводов регулирующих стержней						X				
S1.2.5	замене внутризонных датчиков нейтронного потока						X				
S2	Течь в системе отвода остаточного тепловыделения			X	X	X	X	X	X	X	
S3	Течь через уплотнение шахты реактора				X	X	X	X	X		
S4	Протечка в смежную систему:										
S4.1	сбой регулирования уровня в корпусе реактора			X	X				X	X	

ТАБЛИЦА III–2. ИСХОДНЫЕ СОБЫТИЯ ВО ВРЕМЯ ОСТАНОВА СТАНЦИИ С РЕАКТОРОМ С ВОДОЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ (с указанием потери критических функций безопасности или механизма инициирования исходного события соответственно) (продолжение)

Исходное событие		Эксплуатационное состояние станции										
		Отключе- ние			Останов					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
S4.2	открытие предохранительного клапана при отводе остаточного тепловыделения			X	X	X		X	X	X		
S4.3	течь в теплообменнике отвода остаточного тепловыделения			X	X	X	X	X	X	X		
S5	Течь в бассейне выдержки отработавшего топлива			X	X	X	X	X	X	X		
Пожары и внутренние затопления												
B1	Пожар внутри гермооболочки	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
B2	Пожар вне гермооболочки	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
IF	Внутреннее затопление			X	X	X	X	X	X	X		
Аварии с возникновением критичности												
K1	Ошибочный подъем регулирующих стержней						X					

ТАБЛИЦА III–2. ИСХОДНЫЕ СОБЫТИЯ ВО ВРЕМЯ ОСТАНОВА СТАНЦИИ С РЕАКТОРОМ С ВОДОЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ (с указанием потери критических функций безопасности или механизма инициирования исходного события соответственно) (продолжение)

Исходное событие		Эксплуатационное состояние станции										
		Отключе- ние				Останов				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
K2	Ошибочное извлечение регулирующих стержней						X					
K3	Ошибка при перегрузке топлива						X					
Падение тяжелых грузов												
H1	Падение тепловыделяющего элемента						X					
H2	Падение тяжелого груза			X	X	X	X	X	X	X		

III-6. Соответствующая информация для станции с реактором с водой под давлением представлена в [III–2] и сведена в таблицы III–3 и III–4. В таблице III–3 показаны эксплуатационные состояния станции, которые следует различать. В таблице III–4 показаны исходные события, рассматриваемые для разных эксплуатационных состояний станции. Данный перечень основан на анализе национального и международного опыта эксплуатации.

ТАБЛИЦА III-3. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СОСТОЯНИЯ ПРИ ДВУХНЕДЕЛЬНОМ ОСТАНОВЕ 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 при работе на номинальной мощности
(1)A1	Отключение при снижении парогенераторами давления систем первого контура до 3,1 МПа и температуры первого контура до 120°C / Все системы защиты реактора по-прежнему в состоянии готовности
(1)B1	Расхолаживание систем первого контура до холодного состояния с разгрузкой давления / Пуск системы отвода остаточного тепловыделения при 120°C, гидроаккумуляторы 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
(1)C	Открытие крышки корпуса реактора, работа на промежуточном контуре / Активная зона в пределах корпуса реактора, системы первого контура не закрыты герметично, шлюз перегрузки топлива между приемным (установочным) бассейном и бассейном выдержки топлива закрыт
(1)D	Залив шахты реактора, выгрузка тепловыделяющих элементов / Активная зона полностью или частично в пределах корпуса реактора, шлюз перегрузки открыт
E	Опорожнение шахты реактора и корпуса реактора / Активная зона полностью разгружена, шлюз перегрузки закрыт, работа выполняется на нижнем уровне петли
(2)D	Повторное заполнение шахты реактора, загрузка тепловыделяющих элементов / Активная зона полностью или частично в пределах корпуса реактора, шлюз перегрузки открыт
(2)C	Снижение уровня до уровня промежуточного контура, закрытие крышки корпуса реактора / Активная зона в пределах корпуса реактора, система первого контура не закрыта герметично, шлюз перегрузки закрыт
(2)B2	Опорожнение и повторное заполнение системы первого контура / Активная зона в пределах корпуса реактора, система первого контура герметично закрыта
(2)B1	Разогрев системы первого контура главными циркуляционными насосами / Все системы защиты реактора в состоянии готовности

ТАБЛИЦА III–3. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СОСТОЯНИЯ
ПРИ ДВУХНЕДЕЛЬНОМ ОСТАНОВЕ СТАНЦИИ С РЕАКТОРОМ
С ВОДОЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ (продолжение)

№	Изменения физического состояния / Характеристики системы
(2)A1	Удаление бора из теплоносителя и перевод реактора в критическое состояние / <i>Извлечение регулирующих стержней и/или удаление бора из теплоносителя</i>
(2)A0	Повышение мощности до заданного уровня / <i>Сигналы защиты реактора и готовность систем безопасности такие же, как при работе на номинальной мощности</i>

Примечание. (1) означает эксплуатационное состояние станции при отключении,
(2) означает эксплуатационное состояние станции при повторном пуске.

ТАБЛИЦА III–4. ИСХОДНЫЕ СОБЫТИЯ В СОСТОЯНИЯХ
ОСТАНОВА СТАНЦИИ С РЕАКТОРОМ С ВОДОЙ
ПОД ДАВЛЕНИЕМ (с указанием потери критических функций
безопасности или механизма инициирования исходного события
соответственно)

Исходное событие	Эксплуатационное состояние станции													
	A0	A1	B1	B2	C	D	E	D	C	B2	B1	A1	A0	
	Корпус реактора закрыт				Корпус реактора открыт				Корпус реактора закрыт					
Переходные режимы														
Потеря электропитания собственных нужд — внешнего	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Потеря электропитания собственных нужд — внутреннего							X	X	X					
Потеря основной питательной воды без потери подачи основного тепла	X	X											X	X

ТАБЛИЦА III–4. ИСХОДНЫЕ СОБЫТИЯ В СОСТОЯНИЯХ
ОСТАНОВА СТАНЦИИ С РЕАКТОРОМ С ВОДОЙ
ПОД ДАВЛЕНИЕМ (с указанием потери критических функций
безопасности или механизма инициирования исходного события
соответственно) (продолжение)

Исходное событие	Эксплуатационное состояние станции													
	A0	A1	B1	B2	C	D	E	D	C	B2	B1	A1	A0	
	Корпус реактора закрыт				Корпус реактора открыт				Корпус реактора закрыт					
Потеря основного теплоотвода без потери основной питательной воды	X	X										X	X	
Потеря основной питательной воды и основного теплоотвода	X	X										X	X	
Течь главного паропровода вне гермооболочки	X	X										X	X	
Течь главного паропровода внутри гермооболочки	X	X										X	X	
Течь линии питательной воды в здании турбины	X	X										X	X	
Течь линии питательной воды внутри гермооболочки, неизолируемая	X	X										X	X	
Потеря отвода остаточного тепловыделения вследствие:														
— ошибочного снижения уровня					X				X					

ТАБЛИЦА III-4. ИСХОДНЫЕ СОБЫТИЯ В СОСТОЯНИЯХ
ОСТАНОВА СТАНЦИИ С РЕАКТОРОМ С ВОДОЙ
ПОД ДАВЛЕНИЕМ (с указанием потери критических функций
безопасности или механизма инициирования исходного события
соответственно) (продолжение)

Исходное событие	Эксплуатационное состояние станции													
	A0	A1	B1	B2	C	D	E	D	C	B2	B1	A1	A0	
	Корпус реактора закрыт				Корпус реактора открыт				Корпус реактора закрыт					
— сбой в работе каналов отвода остаточного тепловыделения			X	X	X	X		X	X	X				
Непреднамеренное включение сигналов системы аварийного охлаждения активной зоны				X										
Аварии с потерей теплоносителя														
Малая течь первого контура $A < 25 \text{ см}^2$	X	X	X								X	X	X	
Малая течь 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 течь первого контура $200 \text{ см}^2 < A < 500 \text{ см}^2$	X	X	X								X	X	X	
Большая течь первого контура $A > 500 \text{ см}^2$	X	X	X								X	X	X	

ТАБЛИЦА III–4. ИСХОДНЫЕ СОБЫТИЯ В СОСТОЯНИЯХ
ОСТАНОВА СТАНЦИИ С РЕАКТОРОМ С ВОДОЙ
ПОД ДАВЛЕНИЕМ (с указанием потери критических функций
безопасности или механизма инициирования исходного события
соответственно) (продолжение)

Исходное событие	Эксплуатационное состояние станции													
	A0	A1	B1	B2	C	D	E	D	C	B2	B1	A1	A0	
	Корпус реактора закрыт				Корпус реактора открыт				Корпус реактора закрыт					
Непреднамеренное открытие Р-bdV из-за сбоя в ходе технического обслуживания		X	X	X						X	X	X		
Непреднамеренное открытие Р-bdV вследствие потери внешнего энергоснабжения	X	X	X								X	X	X	
Непреднамеренное открытие Р-bdV после аварийного отключения турбины	X	X	X								X	X	X	
Течь трубы парогенератора	X	X	X								X	X	X	
Течь системы отвода остаточного тепловыделения внутри гермооболочки			X	X	X	X	X	X	X	X				
Течь системы отвода остаточного тепловыделения в кольцевом канале			X	X	X	X	X	X	X	X				
Течь системы продувки/подпитки первого контура	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

ТАБЛИЦА III–4. ИСХОДНЫЕ СОБЫТИЯ В СОСТОЯНИЯХ
ОСТАНОВА СТАНЦИИ С РЕАКТОРОМ С ВОДОЙ
ПОД ДАВЛЕНИЕМ (с указанием потери критических функций
безопасности или механизма инициирования исходного события
соответственно) (продолжение)

Исходное событие	Эксплуатационное состояние станции													
	A0	A1	B1	B2	C	D	E	D	C	B2	B1	A1	A0	
	Корпус реактора закрыт				Корпус реактора открыт				Корпус реактора закрыт					
Протечка шахты реактора/приемного (установочного) бассейна						X		X						
Протечка в смежные системы			X	X	X	X	X	X	X	X				
Непредвиденное деборирование														
Протечки из системы с неборированной водой:														
— течь трубы парогенератора			X	X	X	X	X	X	X	X	X			
— течь теплообменника отвода остаточного тепловыделения			X	X	X	X	X	X	X	X	X			
— протечка уплотнения подшипника			X	X	X	X	X	X	X	X	X			
— непреднамеренный выпрыск в первый контур			X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Непредусмотренное присутствие неборированной воды в системе отвода остаточного тепловыделения			X	X	X	X	X	X	X	X	X			

ТАБЛИЦА III-4. ИСХОДНЫЕ СОБЫТИЯ В СОСТОЯНИЯХ
ОСТАНОВА СТАНЦИИ С РЕАКТОРОМ С ВОДОЙ
ПОД ДАВЛЕНИЕМ (с указанием потери критических функций
безопасности или механизма инициирования исходного события
соответственно) (продолжение)

Исходное событие	Эксплуатационное состояние станции													
	A0	A1	B1	B2	C	D	E	D	C	B2	B1	A1	A0	
	Корпус реактора закрыт				Корпус реактора открыт				Корпус реактора закрыт					
Разбавление бора при дезактивации									X					
Разбавление бора при повышении уровня										X				
Сбой процедуры борирования при останове			X											
Непреднамеренное разбавление бора при останове после потери всех главных циркуляционных насосов												X		

Примечание. P-bdV — клапан продувки компенсатора давления.

ПРИМЕРЫ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К МОДЕЛИРОВАНИЮ СИСТЕМ

III-7. Документ [III-7] является основным и практически единственным источником примеров, приведенных в пунктах с III-8 по III-10.

III-8. Для некоторых систем может потребоваться специальное моделирование условий останова. Например, системы охлаждения бассейна выдержки могут быть не включены в анализ для эксплуатации на номинальной мощности, но могут быть важны для состояний останова. Возможно, потребуется рассмотреть также определенные эксплуатационные состояния системы отвода остаточного тепловыделения, используемые только при во время останова. Модели системы должны

отражать эксплуатационные состояния и конкретные настройки систем. Критерии успеха, например k каналов из n каналов требуемой конкретной системы, могут быть менее строгими для состояний останова вследствие более низкого уровня остаточного тепловыделения. Для определения этих критериев требуется проведение детальных теплогидравлических расчетов. В состояниях останова устройства автоматического пуска системы могут быть байпасированы с целью предотвращения непреднамеренного пуска. Например, режим автоматического запуска систем аварийного впрыска может быть заблокирован, чтобы они не сработали во время останова. Таким образом, логика управления в деревьях отказов для данных систем должна быть изменена с учетом того факта, что системы должны быть при необходимости включены вручную. Должны быть также разработаны модели соответствующего взаимодействия персонала.

III-9. Выполняемые вручную восстановительные действия, учитываемые в анализе для условий работы на номинальной мощности, могут быть невозможными во время останова вследствие выполнения работ, ради которых выполняется останов. Например, если при работе на номинальной мощности поперечное соединение систем низкого давления может быть обоснованным, то во время останова такое соединение может быть заблокировано либо один из каналов системы может быть полностью отключен. Поэтому в случае, если действия такого типа включены в деревья отказов для эксплуатации на номинальной мощности, их необходимо скорректировать для оценки останова. Если подытожить вышесказанное, то каждое дерево отказов ВАБ для условий эксплуатации на номинальной мощности, адаптируемое для ВАБ для состояний останова, необходимо анализировать для каждого эксплуатационного состояния станции на предмет наличия у этого состояния каких-либо особенностей, которые могут повлиять на логику структуры данного дерева отказов.

III-10. Изменяющиеся уровни готовности различных систем в режиме останова усложняют задачу моделирования систем. Некоторые системы или части систем могут не находиться в состоянии готовности при определенных эксплуатационных состояниях станции. Кроме того, может изменяться вероятность отказа компонента, связанного с базисным событием. Большинство программных пакетов ВАБ основано на «алгоритме быстрого сечения», при помощи которого составляются и сохраняются уравнения для минимальных сечений. Анализ минимальных сечений может выполняться на нескольких уровнях: на уровне конкретного элемента дерева отказов, отдельной последовательности дерева событий или конкретного последствия (с каждой последовательностью дерева событий может быть

соотнесено одно или более последствий (например, какое-либо состояние повреждения станции)). При анализе может задаваться «набор граничных условий», включающий перечень значений или изменений, которые необходимо применить к модели. В этом наборе граничных условий могут быть определены истинные/ложные установки для логических операторов, заданы вероятности для базисных событий и элементов дерева отказов и установлены значения параметров. Это весьма полезно для выполнения анализов одной и той же базовой модели с различными вариациями в зависимости от эксплуатационного состояния станции. Разумеется, выполнение анализа возможно и без использования логических операторов, но тогда для каждого набора граничных условий к полной модели ВАБ для состояний останова добавляются разные отдельные модели дерева отказов, что в случае необходимости внесения изменений усложняет работу по моделированию и пересмотру ввиду большого количества разных моделей деревьев отказов, которые должны быть учтены.

ПОДХОД К ВЫЯВЛЕНИЮ ОШИБОК ПЕРСОНАЛА, ПРЕДШЕСТВУЮЩИХ ИСХОДНЫМ СОБЫТИЯМ, И АНТРОПОГЕННЫХ ИСХОДНЫХ СОБЫТИЙ, ИМЕЮЩИХ ОТНОШЕНИЕ К ВАБ ДЛЯ СОСТОЯНИЙ ОСТАНОВА

III-11. Поскольку детальный анализ всех мер, которые могут быть предприняты персоналом в режимах останова, попросту невозможен, неперенным условием является эффективный скрининг действий, предшествующих исходным событиям. Результатом такого скрининга станет перечень действий с указанием тех действий, для которых достаточно качественной оценки, тех, для которых необходимо провести полноценную оценку, и тех, которые нуждаются в детальном количественном анализе. Подход, описанный в пунктах с III-12 по III-18, представлен в [III-6].

III-12. Основой подхода к скринингу является перечень основных этапов и заданий в рамках стандартного плана проведения останова для конкретной станции. Очевидно, что существует тесная связь между этим перечнем и эксплуатационным состоянием станции, выбранным для проведения ВАБ для состояний останова. Для кипящего реактора он обычно включает 30 этапов или заданий. В [III-6] в качестве примера приводится следующий перечень основных этапов и заданий:

- выполнить снижение мощности;
- начать проверки, связанные с останом станции и отсечением систем;

- отключить генератор от энергосети;
- продолжить снижение мощности до начала отвода остаточного тепловыделения;
- открыть гермооболочку для перегрузки топлива;
- открыть корпус реактора;
- установить компенсатор для затопления шахты реактора;
- начать затопление;
- выполнить работы на корпусе реактора;
- снять осушитель пара;
- установить заглушки и пластины;
- выполнить работы на резервированных каналах;
- выполнить работы, касающиеся систем и элементов;
- провести контроль герметичности топлива;
- заменить тепловыделяющие элементы;
- снять и переустановить разбрызгиватель питательной воды;
- снять заглушки и пластины;
- установить осушитель пара;
- опорожнить затопленную шахту;
- снять компенсатор;
- закрыть корпус реактора;
- закрыть гермооболочку;
- выполнить проверку, связанную с пуском;
- выполнить подъем мощности;
- синхронизировать подключение генератора к сети;
- увеличить мощность до номинальной.

III-13. В отношении элементов из данного перечня для выявления потенциальных ошибок персонала и последствий выполняется оценка рабочих условий и выполняемых задач. Далее оценивается значимость каждой потенциальной ошибки. При определении возможных последствий проводится различие между неготовностью компонентов 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, в течение какого интервала времени будут иметь место неготовность или скрытые дефекты и для каких исходных событий эта неготовность или скрытые дефекты станут очевидными. И наконец, описываются возможные контрмеры и последствия.

III-15. Во втором случае классифицируется исходное событие (например, авария с потерей теплоносителя). Опять же, описываются возможные контрмеры и последствия.

III-16. Одной из важных задач такого скринингового анализа является составление простой для понимания и систематизированной таблицы со всеми результатами скрининга. В нее включаются сведения об опыте эксплуатации, связанном с такими потенциальными ошибками или последствиями.

III-17. Если представляется необходимым проведение детального анализа, он может быть проведен с использованием подходов к анализу надежности персонала, описанных в разделе 5.

III-18. Возможен промежуточный случай, когда для групп исходных событий сходного характера (например, аварий с потерей теплоносителя с протечками над активной зоной) может быть достаточно грубой оценки интегральной вероятности возникновения отказа.

ПРИМЕР ПРОФИЛЯ РИСКА В РЕЖИМЕ ОСТАНОВА, ПОЛУЧЕННОГО В РЕЗУЛЬТАТЕ ВАБ ДЛЯ СОСТОЯНИЙ ОСТАНОВА СТАНЦИИ С КИПАЩИМ РЕАКТОРОМ

III-19. В [III–8] представлены результаты ВАБ для состояний останова станции с кипящим реактором. Задаются шесть эксплуатационных состояний станции:

- 1) эксплуатационное состояние станции 1: эксплуатация на номинальной мощности и пуск с давлением от расчетных 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 топлива со снятой крышкой корпуса и уровнем воды, поднятым до уровня паропроводов;

- 6) эксплуатационное состояние станции 6: перегрузка топлива со снятой крышкой корпуса, уровнем воды, поднятым до уровня в бассейне выдержки отработавшего топлива, и открытой транспортной трубой для перегрузки.

III-20. На рис. III-2 показана зависимость тепловой мощности и давления в первом контуре от времени для эксплуатационных состояний 1–4 кипящего реактора АЭС «Лагуна-Верде». На рис. III-3 показан профиль риска для эксплуатационных состояний 1–4 той же станции. Очевидно, что риск в эксплуатационном состоянии 4 является самым высоким, превышая риски в других эксплуатационных состояниях станции. Этот пример наглядно демонстрирует заключения, сделанные с помощью профиля риска, которые помогают сосредоточить усилия на совершенствовании средств безопасности.

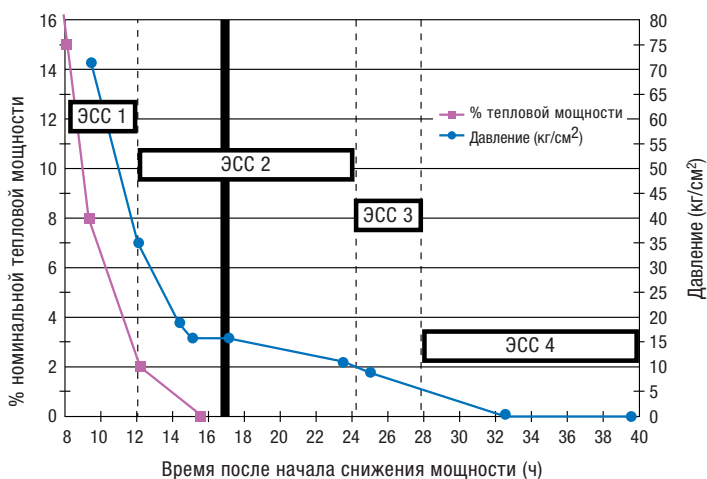


РИС. III-2. Эксплуатационные состояния станции в контексте ВАБ для состояний останова АЭС «Лагуна-Верде». ЭСС — эксплуатационное состояние станции.

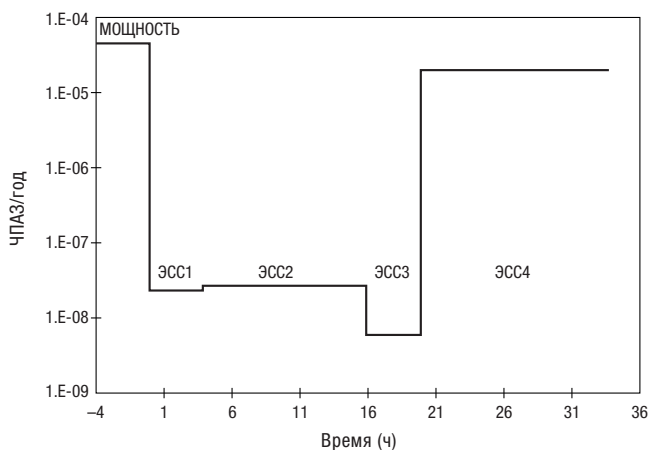


РИС. III-3. Сравнение значений частоты повреждения активной зоны (ЧПАЗ) в год в рамках ВАБ для работы на номинальной мощности и состояний останова. ЭСС — эксплуатационное состояние станции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 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-MWE 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, ID (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, ID (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 (2005).

- [III-6] FACHARBEITSKREIS PROBABILISTISCHE SICHERHEITSANALYSE FÜR KERNKRAFTWERKE, Methoden und Daten zur Probabilistischen Sicherheitsanalyse für Kernkraftwerke, Stand: Mai 2015, BfS-SCHR-61/16, Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter (2016).
- [III-7] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Probabilistic Safety Assessments of Nuclear Power Plants for Low Power and Shutdown Modes, IAEA-TECDOC-1144, IAEA, Vienna (2000).
- [III-8] ESQUIVEL TORRES, J.L., LOPEZ 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

Bedrossian, S.	«Онтарио пауэр дженерейшн», Канада
Bukhari, W.	Международное агентство по атомной энергии
Choi, G.	Международное агентство по атомной энергии
Holmberg, J.-E.	Управление по радиационной и ядерной безопасности, Финляндия
Jang, D.	Корейский институт ядерной безопасности, Республика Корея
Jeon, H.	Корейская компания по гидро- и ядерной энергетике, Республика Корея
Kim, D.	Корейский институт ядерной безопасности, Республика Корея
Laroche, S.	«Электрисите де Франс», Франция
Любарский, А.	Атомэнергопроект, Российская Федерация
Maioli, A.	«Вестингауз электрик корпорэйшн», Соединенные Штаты Америки
McLean, R.	«Брюс пауэр», Канада
Минибаев, Р.	Атомэнергопроект, Российская Федерация
Poghosyan, S.	Международное агентство по атомной энергии
Rowekamp, M.	Общество по безопасности установок и реакторов (ГРС), Германия
Siklossy, T.	Институт исследований ядерной безопасности (НУБИКИ), Венгрия
Weerakkody, S.	Комиссия по ядерному регулированию, Соединенные Штаты Америки

Обеспечение безопасности с помощью международных норм

Международное агентство по атомной энергии
Вена, 2025 год
www.iaea.org

ISBN 978-92-0-433724-2



9 789204 337242