

СЕРИЯ НОРМ МАГАТЭ ПО БЕЗОПАСНОСТИ

Учет внешних
событий, исключая
землетрясения, при
проектировании
атомных
электростанций

РУКОВОДСТВО

№ NS-G-1.5



IAEA

Международное агентство по атомной энергии

УЧЕТ ВНЕШНИХ СОБЫТИЙ,
ИСКЛЮЧАЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ,
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ
АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Членами Международного агентства по атомной энергии являются следующие государства:

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

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

Серия норм по безопасности, № NS-G-1.5

УЧЕТ ВНЕШНИХ СОБЫТИЙ,
ИСКЛЮЧАЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ,
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ
АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ

МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
ВЕНА, 2008 ГОД

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКОМ ПРАВЕ

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

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

© МАГАТЭ, 2008
Напечатано МАГАТЭ в Австрии
Апрель 2008

УЧЕТ ВНЕШНИХ СОБЫТИЙ, ИСКЛЮЧАЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ,
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
МАГАТЭ, ВЕНА, 2008
STI/PUB 1159
ISBN 978-92-0-403308-3
ISSN 1020-5845

ПРЕДИСЛОВИЕ

Мохамед ЭльБарадей
Генеральный директор

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

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

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

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

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

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

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

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

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

РЕДАКЦИОННОЕ ПРИМЕЧАНИЕ

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

Формулировка “должен, должна, должно, должны” используется в нормах безопасности в случаях, когда речь идет о требованиях, обязанностях и обязательствах. Использование формулировки “следует” означает рекомендацию желательного варианта.

Официальным текстом является английский вариант.

СОДЕРЖАНИЕ

1.	ВВЕДЕНИЕ	1
	Общие сведения (1.1–1.5)	1
	Цель (1.6–1.8)	3
	Область применения (1.9–1.18)	4
	Структура (1.19).....	7
2.	ПРИМЕНЕНИЕ КРИТЕРИЕВ БЕЗОПАСНОСТИ В ПРОЕКТНЫХ МЕРАХ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЗАЩИТЫ ОТ ВНЕШНИХ СОБЫТИЙ	8
	Применимые проектные требования (2.1)	8
	Конструкции, системы и элементы, подлежащие защите от внешних событий (2.2–2.17)	9
	Руководящие принципы анализа безопасности для ПВС (2.18–2.32)	14
	Проектные средства безопасности для ПВС (2.33–2.42)	19
	Связь со средствами обеспечения эксплуатационной безопасности (2.43–2.49)	22
3.	ПРОЕКТНЫЕ ОСНОВЫ ДЛЯ ВНЕШНИХ СОБЫТИЙ	24
	Вывод проектных основ путем анализа опасностей на площадке (3.1–3.10)	24
	Общий подход к проектированию (3.11–3.20)	27
	Выбор нагрузок (3.21–3.26).....	31
	Сочетания нагрузок и критерии приемлемости (3.27–3.30).....	32
	Общие руководящие материалы по процедурам проектирования сооружений и аттестации оборудования (3.31–3.42)	34
	Свойства материалов (3.43–3.44)	36
	Эффекты взаимодействия (3.45–3.50)	37
	Документация и обеспечение качества (3.51–3.52).....	38
	Аварийный мониторинг и послеаварийные процедуры (3.53–3.58).....	39
4.	АВИАЦИОННЫЕ КАТАСТРОФЫ	40
	Общее обсуждение (4.1–4.8)	40

Нагрузки (4.9–4.24)	43
Стандартные аналитические подходы (4.25–4.29)	47
Проектирование и аттестация (4.30–4.53)	48
Средства защиты (4.54–4.59)	53
5. ПОЖАРЫ ВНЕШНЕГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ	55
Общее обсуждение (5.1–5.8)	55
Нагрузки (5.9–5.10)	57
Методы проектирования (5.11–5.17)	57
Средства защиты (5.18–5.22)	59
6. ВЗРЫВЫ	60
Общее обсуждение (6.1–6.10)	60
Нагрузки (6.11–6.26)	63
Методы проектирования и меры защиты (6.27–6.39)	68
7. УДУШАЮЩИЕ И ТОКСИЧНЫЕ ГАЗЫ	72
Общее описание (7.1–7.2)	72
Дисперсия (7.3)	72
Метод проектирования (7.4–7.5)	73
Средства защиты (7.6–7.9)	73
8. КОРРОЗИЙНЫЕ И РАДИОАКТИВНЫЕ ГАЗЫ И ЖИДКОСТИ	74
Общее обсуждение (8.1–8.3)	74
Методология проектирования (8.4–8.6)	75
Средства защиты (8.7–8.11)	76
9. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОМЕХИ	77
Общее описание (9.1–9.2)	77
Методы проектирования (9.3–9.4)	77
Средства защиты (9.5–9.7)	78
10. НАВОДНЕНИЯ	78
Общее описание (10.1–10.7)	78
Нагрузки (10.8–10.15)	80

Методы проектирования и средства защиты (10.16–10.18)	81
11. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ВЕТРЫ.	82
Общее обсуждение (11.1–11.4)	82
Нагрузки (11.5–11.8).	83
Методы проектирования и средства защиты (11.9–11.12)	83
12. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ	84
Общее описание (12.1–12.5)	84
Нагрузки (12.6)	86
Методы проектирования и средства защиты (12.7–12.12)	86
13. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ	87
Общее описание (13.1–13.4)	87
Методы проектирования и средства защиты (13.5–13.12)	88
14. ВУЛКАНИЗМ	89
Общее описание (14.1–14.3)	89
Нагрузки и средства защиты (14.4–14.8)	90
15. СТОЛКНОВЕНИЯ ПЛАВУЧИХ ТЕЛ С ВОДОЗАБОРАМИ И ЭЛЕМЕНТАМИ КПП	91
Общее описание (15.1–15.3)	91
Нагрузки (15.4–15.5).	92
Методы проектирования (15.6–15.8)	93
Средства защиты (15.9–15.12).	93
СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	95
ПРИЛОЖЕНИЕ I: АВИАЦИОННЫЕ КАТАСТРОФЫ	97
ПРИЛОЖЕНИЕ II: ДЕТОНАЦИЯ И ДЕФЛАГРАЦИЯ.	105
ПРИЛОЖЕНИЕ III: ПРЕДЕЛЫ ТОКСИЧНОСТИ	121
СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ	123

ОРГАНЫ, УЧАСТВУЮЩИЕ В ОДОБРЕНИИ НОРМ
БЕЗОПАСНОСТИ 125

1. ВВЕДЕНИЕ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Настоящее руководство по безопасности было подготовлено в соответствии с программой МАГАТЭ по разработке норм безопасности для атомных электростанций. Оно дополняет публикацию категории Требований безопасности «Безопасность атомных электростанций: проектирование» [1].

1.2. Настоящее руководство по безопасности является вторым пересмотренным вариантом руководства по безопасности, выпущенного в 1982 году и посвященного учету внешних событий, вызванных деятельностью человека, при проектировании атомных электростанций. Основные изменения таковы:

- 1) в настоящую публикацию, в которой делаются ссылки на руководства по безопасности, посвященные внешним событиям, вызываемым деятельностью человека, опасностям наводнения и экстремальным метеорологическим событиям [2–4], были включены рекомендации относительно конструктивных особенностей, касающиеся всех внешних событий¹, исключая землетрясения;
- 2) рекомендации по проектированию с целью защиты от воздействия внешних событий, которые ранее были изложены в [2] и более ранних нормах безопасности МАГАТЭ², включены в настоящую публикацию, за

¹ Внешнее событие – это событие, которое возникает вне площадки и воздействие которого на атомную станцию следует учитывать. Это могут быть события природного или антропогенного происхождения, выявляемые и отбираемые для целей проектирования в ходе процесса оценки площадки. В некоторых случаях события, возникающие на площадке, но вне связанных с безопасностью зданий, могут рассматриваться в качестве внешних событий, если характеристики создаваемых нагрузок аналогичны характеристикам нагрузок, вызываемых событиями за пределами площадки.

² Учет наводнений в основах проекта атомных электростанций, сооружаемых на берегах рек, Серия норм безопасности № 50-SG-S10A (1984); Учет наводнений в основах проекта атомных электростанций, сооружаемых на морском побережье, Серия норм безопасности № 50-SG-S10B (1985); Учет экстремальных метеорологических явлений при выборе площадок для атомных электростанций (без учета тропических циклонов), Серия норм безопасности № 50-SG-S11A (1981); Учет тропических циклонов в основах проекта атомных электростанций, Серия норм безопасности № 50-SG-S11B (1986); Конечный поглотитель тепла и непосредственно связанные с ним системы передачи тепла на атомных электростанциях, Серия норм безопасности № 50-SG-D6 (1982).

исключением рекомендаций относительно мер по защите площадки, которые сохранены в соответствующих руководствах по безопасности, посвященных оценке площадок;

- 3) разделы, в которых рассматриваются опасные материалы, были реорганизованы с целью обеспечения соответствия с [2]. Определены две группы опасных материалов: удушающие и токсичные газы; и коррозионные и радиоактивные газы и жидкости;
- 4) данные по опыту эксплуатации за период с 1986 года, накопленные в рамках Информационной системы по инцидентам МАГАТЭ [5], и опыт экспертов были изучены и обсуждены в качестве руководящих материалов с целью совершенствования подхода к проектированию. В нескольких разделах был добавлен пункт с изложением основных итогов этого опыта;
- 5) раздел 2, посвященный общему подходу и основным принципам проектирования для защиты от внешних событий, значительно расширен и в него добавлена новая информация по конструкциям, системам и элементам (КСЭ), которые подлежат защите от внешних событий, и по сочетаниям нагрузок и критериям приемлемости;
- 6) подготовлены отдельные разделы, посвященные авиационным катастрофам (с уделением особого внимания эффектам, связанным с топливом), внешним пожарам, взрывам, дрейфующим газовым облакам, выбросам коррозионных жидкостей, столкновениям с водозаборами и всем остальным внешним природным событиям. Обсуждение каждой из этих тем было расширено и обновлено. Часть материала по этим темам, который содержался в предыдущих руководствах по безопасности, была изъята;
- 7) текст был реорганизован.

1.3. В настоящем руководстве по безопасности содержатся рекомендации как для проектных внешних событий, вызванных деятельностью человека, так и для проектных внешних естественных событий³, в то время как рекомендации по оценке площадок приведены в других соответствующих руководствах по безопасности [2–4].

1.4. В других руководствах по безопасности, связанных с публикацией категории требований безопасности «Безопасность атомных электростанций: проектирование» [1], представлено обсуждение вопросов, касающихся внешних событий, и в этом смысле они дополняют настоящее руководство по

³ Проектное внешнее естественное событие – это внешнее естественное событие, выбранное для определения проектных основ.

безопасности — воздействие пожаров в целом рассматривается также в [6], некоторых летящих предметов⁴ (в качестве вторичных эффектов взрывов, главным образом внутри зданий) - в [7], а воздействие землетрясений, вибраций и колебаний грунта обсуждается в [8].

1.5. В других руководствах по безопасности представлены рекомендации, касающиеся таких же сценариев внешних событий, но в связи с проектированием конкретных систем станции: в [9] рассматривается вся система теплоносителя реактора, в [10] – система защитной оболочки, в [11] – система аварийного энергоснабжения, а в [12] – системы контрольно-измерительных приборов и управления.

ЦЕЛЬ

1.6. Цель настоящего руководства по безопасности состоит в том, чтобы дать рекомендации и руководящие материалы по проектированию для защиты атомных электростанций от воздействия внешних событий (исключая землетрясения). Внешние события – это события, происходящие за пределами площадки, либо в пределах границ площадки, но связанные с источниками, которые непосредственно не участвуют в эксплуатационных состояниях энергоблоков атомной станции, такими, как склады топлива или зоны хранения опасных материалов, подвергающихся обращению в ходе строительства, эксплуатации и снятия с эксплуатации энергоблоков, расположенных на той же площадке. В соответствии с [2–4], на предварительных этапах процесса оценки площадок следует определять и отбирать в качестве проектных внешних

⁴ Летящий предмет – это предмет, обладающий кинетической энергией и покинувший предусмотренное для него конструкцией место. Термин «летающий предмет» используется для описания движущегося предмета в целом, но военные летящие предметы, как взрывчатые, так и не взрывчатые (например, бомбы и ракеты), конкретно исключены из рассмотрения. В целом скорости военных летящих предметов выше скорости звука, и поэтому обычно они выходят за рамки применимости методов, изложенных в настоящем руководстве по безопасности. Однако изложенные методы могут использоваться в случае невзрывных военных летящих предметов с характеристиками, лежащими в пределах указанных диапазонов применимости.

событий (ПВС)⁵ значительные события, представляющие собой внешние вызываемые деятельностью человека события⁶, либо проектные внешние естественные события.

1.7. Настоящее руководство по безопасности разработано с целью дать рекомендации по инженерно-техническим вопросам, обеспечивающие соблюдение целей и требований безопасности, изложенных в разделах 2 и 3 публикации по требованиям безопасности «Безопасность атомных электростанций: проектирование» [1].

1.8. В данном руководстве по безопасности излагается общепринятый способ определения соответствующих проектных основ для атомной электростанции посредством оценки опасности на площадке, проводимой на этапе оценки площадки и в соответствии с конкретной компоновкой станции. Представлены также рекомендации относительно методов и процедур проектирования станции таким образом, чтобы сводилась к минимуму вероятность того, что выбранные ПВС на площадке могут поставить под угрозу безопасность станции.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

1.9. Настоящее руководство по безопасности применяется при проектировании и оценке безопасности узлов, важных для безопасности наземных стационарных атомных электростанций с водоохлаждаемыми реакторами. В нем рассматриваются вопросы обеспечения безопасности новых атомных электростанций в связи со следующими ПВС:

⁵ Проектное внешнее событие – это внешнее событие или сочетание внешних событий, выбранных для проектирования всех частей или любой отдельной части атомной электростанции, характеризующееся определенными значениями параметров или связанное с их наличием. Следует обеспечивать, чтобы внешние события, включаемые в основы проекта, были независимы от компоновки станции. Для разработки схемы нагрузок применительно к конкретным численным или экспериментальным моделям, выбранным для проектирования, может потребоваться инженерно-технический анализ.

⁶ Проектное внешнее вызываемое деятельностью человека событие – это внешнее вызываемое деятельностью человека событие, выбранное для определения проектных основ.

События, вызываемые деятельностью человека

- авиационные катастрофы;
- взрывы (дефлаграции и детонации), сопровождаемые пожарами или без пожаров, с образованием или без образования вторичных летящих предметов, источники которых расположены за пределами площадки и на площадке (но вне связанных с безопасностью зданий) и представляют собой, например, хранящиеся опасные или находящиеся под давлением материалы, трансформаторы, емкости под давлением или высокоэнергетическое вращающееся оборудование;
- выброс опасных газов (удушающих, токсичных), хранящихся за пределами площадки и на площадке;
- выброс радиоактивного материала из источников, находящихся за пределами площадки;
- выброс коррозионных газов и жидкостей, хранящихся за пределами площадки и на площадке;
- пожар, возникающий от источников за пределами площадки (главным образом ввиду возможности образования дыма и токсичных газов);
- столкновение судов или плавучих осколков с доступными связанными с безопасностью сооружениями, такими, как водозаборы и элементы конечного поглотителя тепла (КПТ);
- столкновение транспортных средств на площадке с КСЭ;
- электромагнитные помехи, генерируемые за пределами площадки (например, от центров связи и антенн портативных телефонов) и на площадке (например, при срабатывании высоковольтной коммутационной аппаратуры и от неэкранированных кабелей);
- любое сочетание вышеупомянутого в результате общего исходного события (такого, как взрыв с пожаром и выбросом опасных газов и дыма).

Естественные события

- экстремальные метеорологические условия (экстремальные температуры, снег, град, мороз, подповерхностное замерзание и засуха);
- наводнения (вследствие приливов, цунами, сейшей, штормовых нагонов, осадков, водяных смерчей, образования запруд и отказов плотин, таяния снега, оползней в водоемы, изменения каналов и работ в каналах);
- циклоны (ураганы, торнадо и тропические тайфуны) и прямые ветры;
- абразивная пыль и песчаные бури;
- молнии;
- вулканические явления;
- биологические явления;

— столкновение плавучих обломков (лед, бревна и т.д.) с доступными связанными с безопасностью сооружениями, такими, как водозаборы и элементы КПП.

1.10. Этот перечень не является исчерпывающим, и в качестве ПВС на площадке могут быть определены и выбраны другие внешние события, не включенные в перечень. Все такие события следует оценивать в соответствии с конкретными требованиями, согласованными с требованиями безопасности, установленными в отношении них соответствующим государством.

1.11. На полноту определения опасностей, обусловленных ПВС, могут оказывать влияние возможные изменения, произошедшие как в промышленной окружающей среде, так и в условиях транспортировки за время осуществления процесса выбора площадки, а также в опасных природных явлениях (например, из-за изменений климата), как предусмотрено в требованиях безопасности, применяемых при проектировании [1]. Такие изменения в основном рассматриваются в периодических рассмотрениях безопасности [13].

1.12. Степень охвата различных сценариев в настоящем руководстве по безопасности неодинакова: наибольшее внимание уделяется взрывам, наводнениям и авиационным катастрофам. Однако это соответствует последствиям для безопасности станции, ожидаемым в различных сценариях, а также объему инженерно-технических мер, обычно применяемых для защиты станции или для смягчения последствий таких событий.

1.13. Особенно в случае естественных событий, некоторые сценарии рассматриваются в качестве критериев исключения собственно площадки (например, местная вулканическая деятельность и местный активный сдвиг породы) и поэтому они здесь не обсуждаются [14]. Другие сценарии учитываются предпочтительно посредством функций защиты площадки (например, концепции 'сухой площадки', дренажа площадки, защитных дамб и валов), а не проектными мерами на станции, и поэтому они обсуждаются в соответствующей публикации по оценке площадок.

1.14. В данной публикации термин «внешние события» всегда исключает землетрясения и сценарии сотрясения грунта, которые обсуждаются в [8].

1.15. Внешние события, вызываемые деятельностью человека, определены как события аварийного происхождения. Соображения, связанные с физической защиты станции от умышленных действий третьих сторон, выходят за рамки области применения настоящей публикации. Однако описанные здесь методы

могут также в определенной степени применяться при решении проблем физической защиты в случае таких сценариев.

1.16. Настоящее руководство по безопасности может также применяться и к другим типам реакторов, помимо водоохлаждаемых реакторов стационарных атомных электростанций. Однако для оценки применимости следует проводить инженерно-техническую экспертизу в соответствии с конкретными целями безопасности, определенными для того или иного типа станции.

1.17. Настоящее руководство по безопасности содержит рекомендации и руководящие материалы по методикам проектирования, предполагающим уровни точности, соответствующие современной практике проектирования атомных электростанций, прежде всего в плане применения детерминированных методов при проектировании и оценке. Рекомендации относительно применения вероятностных методов на этапах проектирования и оценки в него не включены (см. [15]). Кроме того, предлагаемый метод проектирования отражает лишь ограниченное число из многих возможных инженерно-технических подходов: в соответствии с индивидуальными обстоятельствами, конкретной компоновкой станции и требованиям безопасности могут применяться и другие процедуры.

1.18. Настоящее руководство по безопасности имеет отношение главным образом к стадии проектирования, но большая часть рекомендаций может применяться на стадии оценки безопасности новых установок (описанной в [16]), стадии периодического рассмотрения безопасности (описанного в [13]) и при повторной оценке существующих станций путем широкого использования инженерно-технической экспертизы и согласно соответствующим регламентирующим требованиям для конкретной стадии.

СТРУКТУРА

1.19. Общий подход к безопасности и основные принципы проектирования представлены в разделе 2 вместе с понятиями, необходимыми для составления перечня связанных с безопасностью узлов, подлежащих защите. Определение проектных параметров на основе анализа опасности на площадке и основ проекта обсуждено в разделе 3, наряду с соответствующими сочетаниями нагрузок и критериями приемлемости. Некоторые конкретные события рассматриваются по отдельности в разделах 4–15. Примеры основ проекта для авиационных катастроф, взрывов твердых веществ и взрывов газового облака, а также данные о пределах токсичности в различных государствах представлены

в приложениях. Вследствие отсутствия общего согласия по таким вопросам между государствами, могут быть приведены только примеры из практики. Эти примеры, вместе с должным учетом общих критериев безопасности, могут помочь в выборе наиболее подходящего подхода для любого конкретного государства.

2. ПРИМЕНЕНИЕ КРИТЕРИЕВ БЕЗОПАСНОСТИ В ПРОЕКТНЫХ МЕРАХ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЗАЩИТЫ ОТ ВНЕШНИХ СОБЫТИЙ

ПРИМЕНИМЫЕ ПРОЕКТНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

2.1. В пунктах 4.2 и 4.4 публикации по требованиям безопасности «Безопасность атомных электростанций: проектирование» [1] вводятся требования:

"Для обеспечения применения глубокоэшелонированной защиты в качестве общей концепции безопасности проектирование должно осуществляться с таким расчетом, чтобы предотвращать, насколько это представляется практически возможным:

- 1) возникновение проблем, связанных с целостностью физических барьеров;
- 2) отказ барьера при возникновении проблем;
- 3) отказ барьера вследствие отказа другого барьера.

Все уровни защиты должны постоянно находиться в рабочем состоянии, хотя для эксплуатационных режимов, иных чем работа на мощности, может быть определено некоторое послабление требований».

Относительно концепции глубокоэшелонированной защиты, документ [1] (пункт 2.11) также гласит:

«Число необходимых физических барьеров будет зависеть от потенциальных внутренних и внешних опасностей и потенциальных последствий отказов».

КОНСТРУКЦИИ, СИСТЕМЫ И ЭЛЕМЕНТЫ, ПОДЛЕЖАЩИЕ ЗАЩИТЕ ОТ ВНЕШНИХ СОБЫТИЙ

2.2. В целях удовлетворения требований безопасности для защиты от внешних событий, выбранных на этапе оценки площадки, полезно вводить классификацию узлов станции, обеспечивающую рациональную основу для проектирования. В дополнение к классификации безопасности может быть разработана классификация узлов по отношению к внешним событиям (ВС) с целью определения системных требований в случае ПВС (для проектирования и технического обслуживания), оценки последствий их отказа и выработки последовательности целенаправленных действий оператора по окончании события⁷. Классификация по отношению к ВС может также использоваться в рамках процесса модификации с целью обеспечения того, чтобы модификации были надлежащим образом классифицированы и не разрушали основ проекта.

2.3. Классификация по отношению к внешним событиям, если она применяется, не подразумевает различных уровней нагрузок для сценариев внешних событий и поэтому при проектировании узлов, классифицированных по отношению к внешним событиям, следует руководствоваться только экстремальными значениями ПВС (как определено в [2–4]), или таким сочетанием ПВС, в котором, по крайней мере, одно из них имеет экстремальное или близкое к экстремальному значение⁸. Однако при проектировании могут использоваться более низкие интенсивности нагрузок по двум основным причинам:

⁷ Классификация по отношению к ВС представляет собой процесс сопоставления категории внешнего события с определенным узлом станции, помимо других классификаций (например, для целей безопасности, сейсмической оценки, обеспечения качества (ОК) и технического обслуживания), согласно требованиям к его функционированию в течение ПВС и после него. Соответствующий критерий приемлемости, связанный с узлом, является частью классификации. Классификация по отношению к ВС – это общая концепция для применения ко всем ВС, воздействующим на станцию, включая землетрясения. Обсуждение аспектов, связанных с землетрясениями, содержится в руководстве по безопасности, посвященном проектированию сейсмостойких конструкций [8], вместе с примерами и процедурами, но оно полностью соответствует определенным здесь общим концепциям.

⁸ В некоторых государствах приняты два уровня классификации/устойчивости к нагрузкам в зависимости от детерминированной категоризации частых/нечастых событий: нечастые неисправности ($<10^{-3}$ в год) требуют одной линии защиты, в то время как частые неисправности ($>10^{-3}$ в год) требуют двух линий защиты.

- по *эксплуатационным причинам*, для определения оперативного уровня для станции, с соответствующими требованиями в отношении останова, инспекций и аварийных процедур в случае, если интенсивности нагрузок превышают порог;
- для *сочетаний нагрузок* с другими событиями, определяемыми в проектных основах, как следствие вероятностной оценки частоты появления некоторых сочетаний нагрузок (например, включая частый ветер, обычную температуру и нормальные осадки).

2.4. Когда в одном и том же сочетании нагрузок учитываются различные уровни одних и тех же внешних событий, критерии приемлемости узлов, классифицированных по отношению к внешним событиям, следует связывать с тем ПВС, значение которого в сочетании нагрузок предполагается экстремальным.

2.5. В некоторых случаях вероятностные соображения в отношении вероятности сочетания нагрузок и связанного с этим риска могут оправдывать применение менее строгих критериев приемлемости во время ПВС малой длительности, при условии, что данный узел не относится к группе безопасности для событий в сочетании и что разработаны проводимые после окончания события инспекции с целью оценки выполнения стандартных критериев приемлемости (указанных в их классификации) после события ([1], пункты 4.3, 5.7).

2.6. Следует разработать классификацию внешних событий, дополняющую общую классификацию безопасности станции, в которой определены КСЭ, важные для безопасности ([1], пункты 5.1–5.3), и соответствующую ей. Классификация безопасности охватывает следующие узлы:

- узлы, отказ которых может прямо или косвенно представлять собой постулируемое исходное событие (например, к ним относятся узлы, защищающие станцию от внешних событий);
- узлы, необходимые для останова реактора, мониторинга критических параметров, поддержания реактора в состоянии останова и отвода остаточного тепла в течение требуемого периода времени;
- узлы, необходимые для предотвращения радиоактивных выбросов или для того, чтобы удерживать выбросы на уровне ниже пределов, установленных регулирующим органом для аварийных условий (например, все уровни и барьеры глубокоэшелонированной защиты).

2.7. В классификации ВС следует учитывать все узлы, отнесенные к классу безопасности, и, возможно, другие узлы, такие, как:

- узлы, ‘не важные для безопасности’, которые при ПВС могут воздействовать на функциональные возможности узла, классифицированного по безопасности («взаимодействующие узлы»);
- узлы, не включенные в 2) и 3) выше, которые необходимы для предотвращения аварийных условий на станции или смягчения их последствий в течение такого длительного периода, что в течение этого периода существует разумная вероятность того, что произойдет ПВС.

Из классификации по отношению к ВС могут быть исключены узлы, не подвергающиеся воздействию какого-либо ПВС (например, узлы, расположенные на более высоком уровне, чем уровень наводнения и не подвергающиеся воздействию любого другого ПВС).

2.8. Следует обеспечивать, чтобы классификация по отношению к ВС базировалась на четком понимании функций безопасности, выполнение которых требуется от узлов во время и после ПВС или проектной аварии (в том числе тяжелых аварий, если они включены в сочетания нагрузок), не вызванной ПВС. Части системы могут, в соответствии с их различными функциями, принадлежать к различным категориям.

2.9. КСЭ, определенные в соответствии с вышеизложенным, могут быть разделены на две или более связанных с внешними событиями категорий с точки зрения их воздействия на безопасность станции в случае отказа, вызываемого ПВС. Рекомендованная классификация по отношению к внешним событиям, которую необходимо отразить в различных проектных требованиях, является следующей:

- *категория 1 по отношению к внешним событиям (ВС-K1)*: узлы, функционирование которых следует поддерживать в случае ПВС и узлы, необходимые для предотвращения или смягчения последствий аварийных условий на станции в течение такого длительного периода, что существует разумная вероятность того, что в течение этого периода может произойти ПВС (т.е. узлы, ‘важные для безопасности’). Эти узлы следует проектировать в соответствии с критериями приемлемости, соответствующими функциям безопасности, выполнение которых требуется во время и после ПВС;
- *категория 2 по отношению к внешним событиям (ВС-K2)*: узлы, утрата функциональных возможностей которых может быть допустима, но не

должна наносить ущерба функциональным возможностям узлов категории ВС-С1 в случае ПВС. Критерии приемлемости для этих узлов следует связывать с их потенциальным взаимодействием с узлами категории ВС-К1;

- *категория 3 по отношению к внешним событиям (ВС-К3)*: узлы, являющиеся частями систем, способных вызывать события с радиологическими последствиями, отличными от последствий, связанных с реактором (например, здание склада отработавшего топлива и здание склада радиоактивных отходов). Коэффициенты сочетания нагрузок и критерии приемлемости для этих узлов следует связывать с их конкретной потенциальной опасностью как источника радиационных аварий, которую следует считать меньшей, чем опасность реактора;
- *не классифицированные по отношению к внешним событиям (ВС-НК)*: все прочие узлы.

2.10. В пределах каждой категории классификации по отношению к ВС следует применять к узлам, в зависимости от их важности или уязвимости в случае ПВС, разнообразные критерии приемлемости (в соответствии с требуемой функцией) и разнообразные запасы безопасности, наряду с конкретными регламентами строительства, эксплуатации, инспектирования и технического обслуживания.

2.11. Проектирование, монтаж и техническое обслуживание узлов категории ВС-К1 атомной электростанции следует проводить в соответствии с инженерно-технической практикой для ядерных применений, согласно которой соответствующие запасы безопасности следует устанавливать на основе возможных последствий. Для любого узла категории 1 следует устанавливать соответствующий критерий приемлемости (например, функциональные возможности, герметичность и максимальное искажение), исходя из требуемой функции безопасности.

2.12. Поскольку требованием является сохранение целостности и только ограниченных функциональных возможностей узлов ВС-К2 (в некоторых случаях сохранения функциональных возможностей не требуется) с целью предотвращения их взаимодействия с узлами категории 1, могут быть использованы более упрощенные и менее консервативные критерии в отношении проектирования, монтажа и технического обслуживания, в некоторых случаях с более низким, чем для узлов ВС-К1, внутренне присущим запасом безопасности в отношении вероятности того, что они могут инициировать возникновение аварии. Зачастую для решения этой проблемы проводят осмотры станции с использованием имеющегося опыта (см. раздел 3).

2.13. Проектирование, монтаж и техническое обслуживание узлов категории ВС-К3 следует проводить в соответствии с инженерно-технической практикой для ядерных применений. Если их критерии приемлемости могут быть прямо связаны с конкретными соответствующими радиологическими последствиями (которые, как предполагается, отличны от последствий, связанных с реактором), такие критерии могут отличаться от критериев, определенных для ВС-К1 (и в целом быть менее консервативными, чем они).

2.14. Проектирование узлов категории ВС-НК следует проводить как минимум в соответствии с инженерно-технической практикой для ядерных применений. Для некоторых узлов этой категории первостепенной важности для эксплуатации станции, может оказаться разумным выбрать, на основе целевых эксплуатационных параметров, более строгие критерии приемлемости. Такой подход сводит к минимуму необходимость останова, инспекций и повторного лицензирования станции, позволяя таким образом продолжить ее эксплуатацию после ПВС.

2.15. Типичными системами, которые следует классифицировать как относящиеся к ВС-К1, являются:

- конструкция защитной оболочки реакторной системы (в том числе основания) или внешняя конструкция биологической защиты, если таковая имеется, в той мере, в какой это необходимо для исключения значительной потери герметичности;
- конструкции, являющиеся опорами, корпусами узлов, важных для безопасности, или осуществляющие их защиту, в той мере, в какой это необходимо для обеспечения их функциональной работоспособности;
- сооружения, защищающие станцию от внешних событий;
- силовые кабели и кабели контрольно-измерительных приборов и управления (КИПиУ), имеющие отношение к безопасности соответствующих узлов;
- помещение центрального щита управления или помещения резервного щита управления, включая все оборудование, необходимое для неперевышения в помещении центрального щита управления или помещениях резервного щита управления безопасных пределов, относящихся к условиям пребывания персонала и внешней среды функционирования оборудования, защищаемого от ПВС;
- системы или части систем, необходимые для контроля, приведения в действие и эксплуатации тех частей систем, которые защищаются от ПВС;
- аварийные источники энергоснабжения и их вспомогательные системы, необходимые для выполнения активных функций безопасности;

— система мониторинга после аварии.

2.16. Типичными системами, которые следует классифицировать как относящиеся к ВС-К2, являются:

— те части КСЭ, продолжение функционирования которых не требуется, но отказ которых может сокращать возможности выполнения любых определенных выше (ВС-К1) функций станции до неприемлемого уровня безопасности или может приводить к выводу из строя, в результате увечий, персонала в помещении щита управления, который необходим для выполнения функции безопасности.

2.17. Типичными системами, которые следует классифицировать как относящиеся к ВС-К3, являются:

— КСЭ для локализации отработавшего топлива;
— системы охлаждения отработавшего топлива;
— системы для удержания высокорadioактивных отходов, находящихся в газообразной, паровой, жидкой и/или твердой форме.

РУКОВОДЯЩИЕ ПРИНЦИПЫ АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ПВС

2.18. Внешнее событие включает любые вероятные эффекты, являющиеся следствием этого события [2–4]. Внешние события могут оказывать различного рода отрицательное воздействие на безопасность станции, например: приводить к ухудшению свойств конструкций, нарушениям эксплуатации оборудования, ухудшению действий оператора, нарушениям работоспособности теплоотвода и неготовности находящихся за пределами площадки источников энергии и аварийных ресурсов.

2.19. Выбрав внешние события для рассмотрения на конкретной площадке, разработчику проекта следует оценить их воздействие на станцию, в том числе все вероятные вторичные эффекты, в соответствии с критерием единичного отказа и его ограничениями, как поясняется в [1], пункт 5.39. С этой целью следует проводить анализ безопасности, используя постоянную обратную связь с целью оптимизации проектирования защитных мер, как поясняется в [16]. Следует проявлять осторожность при оценке воздействий на станцию с целью обеспечения разработки реалистичных и надежных сценариев — единственный охватывающий сценарий может оказаться чрезмерно консервативным.

2.20. Следует также учитывать возможность отказов по общей причине⁹. Критерий единичного отказа – это единственный критерий, позволяющий учитывать случайные отказы, и поэтому резервирование, являющееся окончательным итогом такого анализа, может оказаться неэффективным ввиду отказов по общей причине [17], обычно связанных с внешними событиями, которые, как ожидается, могут оказывать отрицательное воздействие на относительно большие зоны станции.

2.21. ПВС не следует рассматривать в сочетании с событиями, которые могут происходить независимо, такими, как другие вызываемые деятельностью человека внешние события, природные явления, отказы оборудования и ошибки оператора, если только не показано, что вероятность возникновения сочетания этих событий достаточно высока. При таком анализе следует оценивать возможность причинной связи, как изложено в [16].

2.22. Следует исходить из предположения о том, что любое экстремальное ПВС будет сопровождаться потерей внешнего электроснабжения, если не может быть исключена прямая или косвенная причинная связь. В частности, для ПВС, которые как ожидается, окажут воздействие на всю площадку и поэтому могут приводить к возникновению режима отказов по общей причине, следует рассматривать сочетание потери внешнего электроснабжения с ПВС. Для других событий следует исходить из предположения о потере внешнего электроснабжения в том случае, если место нахождения линий электропередачи или трансформаторной подстанции таково, что прямое воздействие на них ПВС может приводить к потере внешнего электроснабжения. Для таких внешних событий, как столкновения судов, и таких внутренних событий, как пожары или ожидаемые при эксплуатации события, следует исходить из предположения о том, что они совпадут с потерей внешнего электроснабжения, если можно ожидать, что такое событие приведет к незапланированному аварийному

⁹ В некоторых государствах вероятность возникновения некоторых событий, вызываемых деятельностью человека, таких, как внешние взрывы или авиационные катастрофы, рассматривается как весьма низкая, и обычно предполагается весьма высокое качество проектирования, изготовления, инспектирования и технического обслуживания пассивных элементов. Поэтому в отношении пассивных элементов может применяться положение о несоблюдении критерия единичного отказа (пункт 5.39) [1]. В некоторых государствах останов системы, вызываемый ремонтом, испытаниями или техническим обслуживанием и связанным с этим изменением конфигурации станции, рассматривается в качестве одного из возможных режимов единичного отказа в данном контексте. Другие государства включают критерий единичного отказа для всех ПВС.

отключению турбины или аварийной остановке реактора, которые повысят потенциальную возможность возникновения неустойчивости в энергосети.

2.23. В тех случаях, когда это обосновано, при проектировании с целью защиты от ПВС с первичным и вторичным воздействием следует принимать во внимание временные задержки между ними при определении того, каким образом сочетаются эти первичное и вторичное воздействия.

2.24. Явления, которые, как ожидается, будут развиваться медленно, можно учитывать при анализе безопасности в меньшей степени, при условии, что может быть показано, что прежде, чем возникнут серьезные последствия для безопасности станции, могут быть приняты корректирующие меры¹⁰.

2.25. При анализе безопасности следует принимать во внимание возможную продолжительность экстремальных событий, особенно экстремальных погодных условий. Таким образом, если экстремальные условия, постулированные для площадки, могут сохраняться в течение продолжительного периода, следует оценивать возможность осуществления каких-либо резервных мер за пределами площадки, ввиду ущерба, который, вероятно, может быть нанесен, и вероятных условий для аварийных служб. Поэтому следует сделать реалистические оценки способности выполнения ответных мер за пределами площадки при наличии экстремальных условий в регионе площадки, когда аварийные службы, возможно, будут заниматься решением других проблем первостепенной важности. Следует либо предусмотреть надлежащие возможности на случай таких обстоятельств, либо исключить такие резервные меры из анализа безопасности.

2.26. Вообще говоря, для корректирующих мер, связанных с поддержкой установок, расположенных за пределами площадки, следует предусматривать, чтобы учет возможности выполнения незапланированных корректирующих действий был основан на анализе конкретного ПВС и конкретных условий площадки и включал достаточный запас в связи с неопределенностями. Как минимум, для любого события или площадки не следует рассчитывать на выполнение таких мер в течение по меньшей мере 48 часов после начала события.

¹⁰ Например, это относится к проектированию сооружений КПП, и особенно транспортных каналов, с целью защиты от просадки, оползней, оседания или поднятия грунта вследствие изменений в подстилающих подземных водах, и изменений нефтяных или газовых месторождений вследствие естественных событий или событий, вызываемых деятельностью человека, таких, как операции по нефтедобыче.

2.27. В частности для КПП следует также изучить необходимость пополнения текучих сред, обеспечивающих теплопередачу. В том случае, когда на площадке хранятся ограниченные количества текучих сред, обеспечивающих теплопередачу, следует предусматривать возможность их пополнения а) путем обеспечения достаточного количества таких текучих сред, позволяющего выиграть время для восстановления поврежденной части системы подпитки, либо б) путем защиты системы подпитки от воздействия внешнего события. Если установки подпитки полностью защитить невозможно, их следует, по крайней мере, рассредоточить или защитить таким образом, чтобы сразу же после любого внешнего события сохранялась минимальная возможность подпитки.

2.28. При проектировании не следует рассчитывать на выполнение оператором каких-либо действий, которые следует предпринимать сразу же после возникновения ПВС: трудности при доступе оператора на площадке, большие расстояния и трудности связи на площадке могут воспрепятствовать четкой диагностике и локальному смягчению последствий или сделать их невозможными. Не следует полагаться на возможность выполнения оператором действий по устранению отказов оборудования или ремонту повреждений, вызванных ПВС, если не существует четкого подтверждения того, что такие действия могут быть надежно выполнены в пределах временных рамок, соответствующих сложности и трудности требуемых операций. Следует предусматривать значительный запас, с тем чтобы учитывать неопределенности, время, необходимое для диагностики степени отказа и разработки или изменения корректирующих процедур, и возможную неготовность соответствующего персонала или запчастей.

2.29. Внешние события могут приводить к возникновению проблем для глубокоэшелонированной защиты на многих уровнях. Основные проблемы защиты станции следует решать на первом уровне защиты посредством надлежащего проектирования всех физических барьеров, либо аттестации элементов. Однако проектирование защиты от внешних событий следует предусматривать на всех уровнях, с тем чтобы гарантировать, что в случае внутренней проектной аварии имеются все уровни защиты ([1], пункт 4.4). Следует выполнять вероятностные оценки с целью определения соответствующих сочетаний внешних событий и внутренних аварий и рассматривать их потенциальную корреляцию и вероятность совместного возникновения.

2.30. Некоторые внешние события, включенные в основы проекта, могут быть связаны с весьма маловероятными и катастрофическими сценариями:

примерами являются катастрофы большого воздушного судна, разрушительные взрывы вблизи от станции и экстремальные наводнения. При оценке их воздействий на станцию могут возникать значительные неопределенности в силу следующих причин:

- сложности прогнозирования характера и магнитуды воздействий на станцию экстремальных внешних событий, имеющих весьма малую вероятность возникновения;
- значительных неопределенностей, связанных с оценкой воздействий экстремальных внешних событий, как обсуждено в [2–4] для опасностей, но прямо не учитываемых при использовании детерминированных методов проектирования;
- ввиду низкой вероятности возникновения таких экстремальных событий, по существу не имеется опыта эксплуатации, связанного с возможным воздействием этих событий на безопасность станции.

В силу этих причин проектирование полномасштабного защитного барьера может оказаться ненадежным и в некоторых случаях даже невыполнимым¹¹, так что можно предполагать возникновение проблемы для одного уровня глубокоэшелонированной защиты.

2.31. В этих случаях могут быть приняты некоторые специальные инженерно-технические подходы, в том числе применение всех или некоторых следующих мер:

- выбор систем ВС-К1, требуемых для защиты станции от таких событий, может быть менее строгим, чем для других ПВС, с включением лишь части всей совокупности классифицированных узлов, обычно только узлов, относящихся к группе безопасности в связи с экстремальными событиями;
- рассматриваются только сочетания нагрузок с наиболее вероятными состояниями и эксплуатационными режимами станции (т.е. никаких аварийных состояний и никаких режимов перегрузки или технического обслуживания с открытой защитной оболочкой);
- для узлов, имеющих отношение к третьему или четвертому уровню глубокоэшелонированной защиты (смягчение последствий проектных

¹¹ Например, подобная ситуация возникает в случае падения большого воздушного судна на здание защитной оболочки: его герметичность обычно не требуется.

аварий и тяжелых аварий), могут быть заданы более низкие запасы безопасности или пониженные критерии приемлемости по сравнению с другими ПВС;

— могут использоваться основанные на наилучшей оценке, а не консервативные свойства материалов и методы проектирования и анализа.

2.32. Если предполагается возникновение такой проблемы для уровня глубокоэшелонированной защиты, следует вводить специальные эксплуатационные регламенты с учетом пределов и условий для нормальной эксплуатации, дополняемые надлежащими системами оповещения (когда это возможно) и мониторингом (см. следующие подразделы). Кроме того, следует выполнить специализированную вероятностную оценку последствий этих специальных допущений.

ПРОЕКТНЫЕ СРЕДСТВА БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ПВС

2.33. Для выполнения функций безопасности, требуемых при возникновении ПВС, разработчику проекта следует использовать либо специальные системы для защиты от конкретных внешних событий, либо уже имеющиеся на станции системы безопасности для защиты от внутренних событий. В обоих случаях при учете аспектов безопасности при проектировании станции следует уделять должное внимание критерию единичного отказа; это может достигаться посредством резервирования систем безопасности.

2.34. Существуют два основных способа защиты станций от внешних событий:

- 1) посредством использования ‘пассивного барьера’ (например, ‘сухой площадки’ для защиты от наводнения, плотины для защиты площадки от наводнения, внешнего экрана для защиты от авиационной катастрофы, барьеров для защиты от взрывов и изоляции фундамента здания для защиты от землетрясения) уменьшаются причинные влияния внешнего события,
- 2) либо посредством надлежащей аттестации узлов (включая резервирование, неодинаковость или разделение) оценивается способность систем безопасности противостоять воздействиям ВС.

2.35. Следует обеспечивать, чтобы решение отражало оптимальную сбалансированность аспектов безопасности, эксплуатационных аспектов и других важных факторов. Например, внутренне присущая способность

выдерживать воздействие локализованных событий (например, авиационных катастроф) может быть обеспечена посредством физического разделения резервных систем с целью предотвращения одновременного отказа резервных систем вследствие воздействий вибраций зданий, обломков или пожара, вызванного авиационным топливом. В противном случае необходимо предусматривать дополнительную защиту в виде барьеров или увеличивать пространственное разделение посредством изменения компоновки станции.

2.36. Рекомендации относительно применения резервирования, неодинаковости и разделения содержатся в [1, 17]. В частности, для больших и обширных систем, а именно, систем, используемых для транспортировки тепловой энергии к КПП, насосных станций, градиен или систем длинных трубопроводов с большими кольцевыми главными системами¹² следует предусматривать особые меры защиты от отказов по общей причине. Следует осуществлять изложенные ниже стратегии защиты, надлежащим образом комбинируя их.

- Адекватное резервирование узлов, связанных с безопасностью. Уровень резервирования следует определять путем применения при проектировании подхода единичного отказа. В тех случаях, когда вероятность ПВС весьма низка, а системы являются пассивными, в отношении применения подхода единичного отказа ([1], пункт 5.39) могут делаться на индивидуальной основе исключения.
- Широкое пространственное разделение резервных элементов. Следует обеспечивать, чтобы эта мера предотвращала как отказы по общей причине в связи с локализованными внешними событиями (например, воздействие летящих предметов), так и взаимодействия в случае отказа одной системы, которые могут быть источником внутренних аварий. С целью применения физического разделения следует проводить детальный анализ зон влияния или ожидаемого ущерба от ПВС.
- Неодинаковость резервных элементов. В случае сценариев внешнего события, допускающих отказы по общей причине, следует тщательно оценивать выгоды, обеспечиваемые неодинаковостью. Когда это возможно, неодинаковость следует сочетать с разделением.

2.37. В отношении некоторых внешних событий, инициативные, активные или административные меры, основанные на предупреждении, могут также

¹² Кольцевая главная система – это система трубопроводов, связывающая между собой системы, используемые для транспортировки тепловой энергии к КПП.

оказаться полезными для повышения безопасности, обеспечивая дополнительную глубокоэшелонированную защиту помимо основных определенных выше методов защиты. Примерами таких мер являются сокращение использования создающих нагрузки при пожарах материалов рядом с ядерной площадкой или на ней, установка дополнительных барьеров (перемычек) или закрытие водонепроницаемых ворот в ожидании затопления, и инспекции дренажных каналов. Хотя эти меры обычно не столь же надежны, как пассивные технические системы, они, тем не менее, могут приводить к дополнительным полезным результатам в плане безопасности. Следует обеспечивать, чтобы надежность таких мер соответствовала надежности оборудования для мониторинга и прогнозирования и надежности действий оператора.

2.38. Результативность административных мер сильно зависит от уровня контроля их применения, особенно в тех случаях, когда речь идет о различных администрациях. Поэтому следует тщательно оценивать их надежность.

2.39. При проектировании с учетом требований безопасности следует также рассматривать изложенные ниже аспекты:

- при проектировании следует предусматривать возможность доступа после того, как произойдет ПВС, к помещению центрального щита управления, к дополнительным пунктам управления и к пунктам, помещениям и установкам, необходимым для соблюдения требований;
- при проектировании следует обеспечивать, чтобы во время ПВС состояние станции не ухудшалось настолько, чтобы его не было возможно контролировать с помощью мер безопасности;
- следует предполагать, что системы, не защищенные от воздействия ПВС (т.е. узлы ВС-НК), являются 'действующими' или 'недействующими', в зависимости от того, какое состояние обеспечивает более консервативный сценарий при проектировании мер защиты от воздействия ПВС.

2.40. Не следует допускать, чтобы проектные меры по защите станции от ПВС ухудшали ее реагирование на другие события, включенные в основы проекта. При проектировании с целью обеспечения дополнительной защиты следует иметь в виду, что барьеры могут приводить к трудностям при инспектировании и техническом обслуживании, в то время как более неплотная компоновка станции может потребовать большей численности персонала для решения расширенных задач наблюдения, а также приведет к удлинению трасс трубопроводов, кабельных желобов и вентиляционных каналов.

2.41. При проектировании станции с целью защиты от ВС следует вводить достаточную надежность, обеспечивающую определенную дополнительную устойчивость станции при запроектных параметрах условий в некоторых сценариях внешних событий. В целом эту устойчивость следует обеспечивать посредством сочетания следующих факторов: высококачественного проектирования, низкой чувствительности к изменению проектных параметров и высокого и подтвержденного консерватизма при выборе материалов, строительных норм и ОК. Оценку консерватизма проекта следует выполнять либо с помощью вероятностных методов, либо путем упрощенного детерминированного граничного анализа.

2.42. Кроме того, следует выполнять специальную оценку таким образом, чтобы избежать того, что возможные небольшие отклонения параметров станции приводят к возникновению серьезного аномального поведения станции («пороговые эффекты») в связи с конкретным характером сценариев внешних событий (например, когда в случае защитной плотины площадки незначительное повышение стационарного уровня воды при наводнении приводит к переливу через край плотины и внезапному затоплению площадки до максимальной отметки наводнения). В этом случае в системах безопасности следует предусматривать, по крайней мере, для режима безопасного останова, дополнительные инженерно-технические меры, такие, как регламенты предупреждения, мониторинга и эксплуатационные регламенты.

СВЯЗЬ СО СРЕДСТВАМИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

2.43. Для любого внешнего события, которое оказывается важным для проекта станции в плане актуальности опасности, влияния на выбор масштабов узлов, связанных с безопасностью, и вклада в результаты вероятностной оценки безопасности (ВОБ), следует определять конкретные эксплуатационные пределы и условия (ЭПУ) ([18], пункты 5.8 и 6.9). Следует увязывать ЭПУ со специализированными процедурами наблюдения (до и/или после события), безопасным состоянием станции (возможно, остановкой реактора), которое должно быть достигнуто по окончании таких 'аномальных' событий и процедурой повторной проверки, по окончании события, пригодности любого важного для безопасности узла, который, возможно, подвергался неблагоприятному воздействию.

2.44. Для узлов, классифицированных в отношении воздействия внешних событий, как указано в [19], следует определять набор эксплуатационных пределов:

- пределы безопасности (пределы безопасной эксплуатации — ПБЭ): они определены в классификации безопасности (а также в классификации ВС) и представляют собой условия основ проекта для узлов. Их превышение представляет проблему для безопасности станции, и, поэтому необходим останов станции с проведением повторной проверки пригодности после окончания события;
- пределы и условия для нормальной эксплуатации (ПУНЭ): они представляют собой пределы для безопасной эксплуатации с должным учетом описанных выше неопределенностей в процессе проектирования. Они не влияют на проектирование, поскольку они внутренне связаны с неопределенностью опасности при весьма малой вероятности превышения. Их превышение предвещает срабатывание систем безопасности в группе безопасности, способной перевести станцию в более безопасное состояние, такое, как снижение мощности или остановка реактора. Возобновление эксплуатации зависит от результатов соответствующего изучения причин и последствий.

2.45. ПУНЭ следует определять на этапе оценки опасности. Следует осуществлять надлежащие процедуры мониторинга и оперативной оценки их превышения, выражаемые в терминах всех параметров, влияющих на определение опасности. Действия, выполняемые в случае превышения ПУНЭ, могут включать усиленный мониторинг, административные меры и пересмотр прогнозов.

2.46. Если в предусмотренных в проекте мерах по защите станции от внешних событий основная роль в деле уменьшения воздействия внешних событий на станцию отводится пассивным барьерам, то ПУНЭ следует связывать с функцией безопасности барьера, а эксплуатацию станции можно разрешать до достижения ПБЭ, исходя из предположения о высокой степени консерватизма при проектировании барьера и при условии, что для запроектных значений не предусматриваются никакие пороговые эффекты. Однако следует надлежащим образом учитывать неопределенности надежности систем мониторинга и прогнозирования и запас между временем, необходимым для останова, и временем до того, как параметры внешнего события превысят защитную способность барьера.

2.47. В любом случае, по отношению к развитию внешнего события, останов станции следует начинать, если выполняется любое из указанных ниже условий [18]:

- если эксплуатационный персонал не может подтвердить, что электростанция эксплуатируется с соблюдением ЭПУ;
- если имеются какие-либо свидетельства повреждения классифицированных узлов;
- если, на основании надежных прогнозов развития события (например, для наводнений или циклонов), существует разумная уверенность в том, что ЭПУ будут превышены в более короткое время, чем то, которое требуется для останова.

2.48. Для большинства внешних событий с внезапными или неожиданными воздействиями мониторинг параметров, связанных с основами проекта, невозможен: например, это параметры соударения воздушного судна, давления взрывной волны или импульсной нагрузки. В таких случаях следует применять принцип предосторожности и начинать останов станции после события на основе заключения оператора.

2.49. С целью предотвращения ненужных аварийных остановов или срабатываний систем безопасности, в случае внешних событий, параметры которых являются непрерывными переменными, такими, как уровень воды или скорость ветра, следует рассматривать возможность проведения регулярных измерений. Следует обеспечивать, чтобы надежность и точность оборудования и систем, используемых для измерения и регистрации этих параметров, соответствовали предъявляемым к ним требованиям безопасности.

3. ПРОЕКТНЫЕ ОСНОВЫ ДЛЯ ВНЕШНИХ СОБЫТИЙ

ВЫВОД ПРОЕКТНЫХ ОСНОВ ПУТЕМ АНАЛИЗА ОПАСНОСТЕЙ НА ПЛОЩАДКЕ

3.1. Первый шаг при проектировании защиты атомной электростанции от внешних событий заключается в определении тех событий, которые рассматриваются в качестве вероятных для конкретной площадки. В [2] изложен метод выбора тех вероятных вызываемых деятельностью человека

событий, которые следует учитывать для площадки, тогда как в [3, 4] описывается оценка опасности некоторых естественных событий. По иным причинам, таким, как причины, связанные с национальной политикой в области обеспечения безопасности, может быть определен некоторый тип внешнего исходного события для проектирования на детерминированной основе.

3.2. Общий подход при проектировании состоит в задании проектных входных параметров с использованием в сочетании детерминированных и вероятностных методов и продолжении проектирования с помощью детерминированных методов.

3.3. В некоторых случаях, даже несмотря на то, что объединенный детерминированный и вероятностный подход может определить конкретное внешнее событие, вызываемое деятельностью человека, в качестве потенциального события, включаемого в основы проекта, оно все же может быть исключено из конкретного анализа, если будет показано, что соответствующие воздействия не выходят за рамки воздействий других событий, включаемых в основы проекта. Однако его следует сохранять в основах проекта, с тем чтобы гарантировать, что потенциальные инженерно-технические и административные меры, которые будут приняты для защиты от ограничивающего события, действительны также для ограничиваемых событий.

3.4. Когда опасность определена в вероятностном контексте ввиду применения при проектировании детерминированного подхода, следует проанализировать опасность на площадке и выбрать 'единственное значение' на кривой опасности, с тем чтобы использовать его в основах проекта. В этом случае выбор основ проекта включает неявное вероятностное предположение относительно риска радиационной аварии, который может быть связан с ядерной установкой, согласно Требованиям безопасности [1]. Поэтому конечной целью такого действия является сохранение риска на приемлемо низком уровне, что подразумевает оценку вероятности того, что событие будет воздействовать на узлы, связанные с безопасностью («проектные значения вероятности»), а затем оценку вероятности неприемлемых последствий их отказа.

3.5. Однако полный вероятностный анализ обычно выполняется только в рамках ВОБ, т.е. на стадии подтверждения проекта. Поэтому на ранней стадии проектирования следует делать допущения относительно таких условных вероятностей, определяемые главным образом с помощью детерминированных расчетов (например, расчета напряжений и оценки разрушения при ударе) и

экспертной оценки, с тем чтобы разумным образом выбрать на кривой опасности значение, включаемое в основы проекта¹³. Ввиду характера этого процесса, он строго привязан к станции и его следует оценивать на стадии оценки проектирования [16]. Следует обеспечивать, чтобы это значение было также совместимо с критериями, применяемыми при вероятностном отборе на стадии оценки площадки.

3.6. Может оказаться разумным определить минимальные детерминированные проектные условия нагружения для этих внешних событий с потенциально значительными последствиями для безопасности станции. Государства, возможно, пожелают определять минимальные условия нагружения при воздействии летящих предметов, взрывов и внешнего пожара. Это позволяет получить определенную уверенность в том, что в течение проектного срока службы станции будет обеспечена надежность конструкции и устойчивость в отношении непредвиденных будущих сценариев¹⁴.

3.7. Более высокое значение вероятности для некоторых событий может также быть получено из кривой опасности в отношении потребностей, связанных с эксплуатацией и сочетанием нагрузок (см. раздел 2.3). Следует обеспечивать, чтобы весь набор значений соответствовал оценке опасности на площадке и включался в программу мониторинга для рассмотрения опасности в рамках процесса периодического рассмотрения безопасности.

3.8. Следует обеспечивать утверждение всего процесса регулирующим органом, а также подтверждение его соответствия другим рискам, создаваемым естественными и промышленными источниками.

3.9. При определении уровней вероятности для ПВС следует учитывать перечисленные ниже вопросы:

- установленную мощность или характеристику опасности источника излучения (в некоторых государствах для бассейна отработавшего топлива задается иное ПВС, чем для здания реактора);

¹³ В некоторых государствах приемлемо малая вероятность события, приводящего к неприемлемому выбросу радиоактивных веществ, определена для новой атомной электростанции как равная приблизительно 10^{-7} на реактор в год.

¹⁴ В некоторых государствах рассматриваются следующие минимальные детерминированные нагрузки: стойкость связанных с безопасностью зданий к внешним пожарам до 300°C, свыше 2,5 часов; давление взрывной волны 10 кПа; летящие предметы: 510 кг, диаметр 0,34 м, длина 10,7 м, скорость 25 м/с, твердые.

- концентрацию воздействий событий: вероятность отказов по общей причине как следствие событий (например, большой пожар, наводнение или экстремальная температура окружающей среды могут в большей степени приводить к возникновению отказов по общей причине, чем авиационная катастрофа);
- необходимость использования активных или пассивных систем безопасности для предотвращения или смягчения последствий неприемлемых воздействий;
- возможность установки систем оповещения, способных своевременно обнаруживать потенциально неблагоприятное развитие события (например, метеорологические явления в сравнении с авиационными катастрофами);
- потенциальная возможность быстрой дисперсии после события (например, возможность дисперсии в случае взрыва, наводнения или ветра больше, чем в случае экстремальной температуры окружающей среды);
- вид потенциального радиоактивного загрязнения: долгосрочные эффекты, трудности при дезактивации, рассеянное или сконцентрированное радиоактивное загрязнение и прямое воздействие на население;
- легкость осуществления аварийного планирования в связи с событием: доступ к площадке, наличие эвакуационных путей и временная задержка между аварией и выбросами;
- характеристики инженерно-технических особенностей, в связи с которыми в случае аварии мог бы в то или иное виде проявляться пороговый эффект (например, перелив через край дамбы в случае наводнения), без возможности предотвратить ухудшение ситуации с радиологическими последствиями.

3.10. Для подтверждения выбранных целевых уровней вероятности следует использовать такие инструментальные методы, как ВОБ внешних событий, мониторинг, инспекции, наблюдение и периодические рассмотрения безопасности.

ОБЩИЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ

3.11. Исходные эксплуатационные режимы для рассмотрения во время возникновения любого ПВС, такие, как работа на мощности, горячий останов, холодный останов, перегрузка топлива, техническое обслуживание и ремонт, следует определять в целом на вероятностной основе.

3.12. На рис. 1 представлена типичная логическая схема анализа воздействий ПВС на классифицированные узлы. На первых этапах определяют события, включаемые в основы проекта, согласно процессу оценки площадки и остулируемым условиям на станции (см. рамки 1 и 2 на рис. 1). Затем следуе разработать вероятные сценарии последствий для ПВС и на этой основе

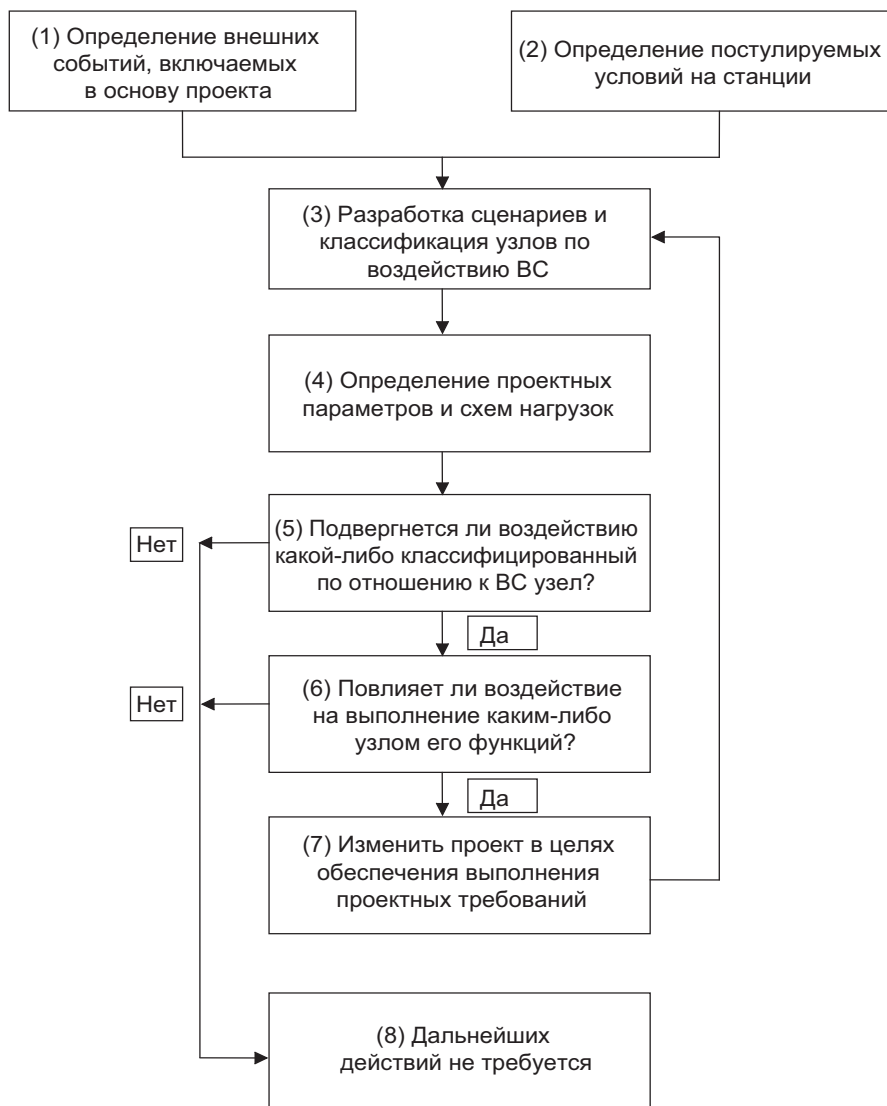


РИС. 1. Логическая схема процесса проектирования защиты от внешних событий.

подготовить перечень подвергающихся воздействию узлов и классифицировать узлы (см. рамку 3). Далее следует определить соответствующие проектные параметры и схемы нагрузок (см. рамку 4).

3.13. Выбор мест на станции, подвергающихся воздействию ПВС (например, зон, зданий и незащищенного оборудования на площадке) следует производить тщательно, поскольку не всегда очевидно, каковы могут быть возможные воздействия на любую конкретную функцию, обусловленные повреждением системы. Например, продолжительность ремонта линии электроснабжения, поврежденной в результате события, может определять минимальное количество хранящегося топлива для дизель-генераторов, если невозможно гарантировать снабжение дизельным топливом из близлежащих источников. Выход из строя вентиляционной системы вследствие авиационной катастрофы может привести к повышению температуры внутри здания, что, в свою очередь, может явиться причиной неисправностей электронного или пневматического оборудования.

3.14. На следующем этапе определяют, на какие важные для безопасности узлы может оказывать прямое или косвенное воздействие внешнее событие, с тем чтобы обеспечить выполнение общих проектных требований (рамка 5). Разработчику проекта следует принимать решение о том, является ли зона, подвергшаяся воздействию, ограниченной или же она может распространиться на всю площадку станции. Обычно такие события, как авиационные катастрофы и удары летящих предметов, имеют ограниченную зону воздействия (даже в случае, если рассматривается воздействие более чем одного летящего предмета), в то время как взрывы, движения грунта и газовые облака могут вызывать эффекты, охватывающие всю станцию. По окончании этого этапа следует завершить классификацию ВС.

3.15. Если зона ударного воздействия ограничена и пораженный участок может быть установлен, имеется возможность определить конкретные важные для безопасности узлы, которым может быть нанесен ущерб. Эти узлы следует защищать, когда не могут быть выполнены требования для этого постулируемого исходного события (ПИС) (т.е., если ответ на вопрос в рамке 6 – «Да»).

3.16. Если внешнее событие идентифицируется в качестве внешнего события, включенного в основы проекта, то проектирование в целях защиты от него, как правило, основывается на детерминистическом анализе. Существуют следующие различные способы обеспечения достижения целей безопасности (рамка 7):

- (a) усиление узлов, так чтобы они могли выдерживать воздействие, если присущие им характеристики будут в ином случае недостаточны;
- (b) защита узлов с помощью пассивных средств (например, защитных барьеров) или с помощью активных средств (например, аттестованных исполнительных устройств, приводящих в действие запорные клапаны);
- (c) размещение резервных узлов в другом месте с достаточным разнесением между ними;
- (d) ограничение последствий повреждения.

3.17. Если подвергшаяся воздействию зона ограничена, но ее нельзя точно определить, проектировщику следует проанализировать, какие функции могут быть нарушены, исходя из того допущения, что подвергшаяся воздействию зона может находиться в любом месте площадки станции (рамка 6). Например, невозможно предсказать местонахождение зоны воздействия при авиационной катастрофе или при образовании летящих предметов, но можно определить зоны, где вероятность авиационных катастроф отсутствует. Например, если здание расположено рядом с другими зданиями, то они могут служить защитными барьерами от воздействий авиационной катастрофы.

3.18. Если зона воздействия охватывает всю станцию, как можно было бы ожидать в случае сильных ветров или токсичных газовых облаков, то важные для безопасности узлы, которые расположены в разных частях станции, могут пострадать одновременно (и ответ на вопрос в рамке 5 будет положительным). Такое возможное совпадение во времени следует учитывать при анализе того, могли ли быть нарушены необходимые функции (рамка 6). Поэтому для защиты от событий, которые могут воздействовать на всю станцию в целом, одного только разделения расстоянием может, вероятно, оказаться недостаточно и может возникнуть необходимость специально предусмотреть усиление узлов или их защиту от воздействий (рамка 7); например изоляцию воздухозаборника помещения центрального щита управления в случае возникновения токсичных облаков.

3.19. После выполнения этих мероприятий новый проект следует подвергнуть общей оценке, включая оценку влияния изменений на поведение станции в связи с другими событиями (стрелка возвращения в логической схеме). В следующих разделах разъясняются подходы, используемые при выполнении большей части определенных ранее этапов.

3.20. В период ввода в эксплуатацию следует выполнять систематические инспекции с участием опытных инженеров, организуемые в форме официальных осмотров станции с целью обеспечения окончательной проверки

предусмотренной в проекте защиты от внешних событий, особенно наводнений, и в том числе внутренних взаимодействий через внутренние пожары, затопления, механическое воздействие и электромагнитные помехи; для проверки отсутствия непредвиденных ситуаций; и для обеспечения выборочной проверки конкретных проектных решений. В состав группы, проводящей осмотр, следует включать экспертов-специалистов по внешним событиям, проектированию ядерных сооружений и проектированию элементов, а также системных аналитиков и операторов станции.

ВЫБОР НАГРУЗОК

3.21. Выбор параметров основ проекта и связанной схемы нагрузок для выбранных ПВС следует производить в соответствии с уровнем детализации, требуемым для оценки проектных пределов¹⁵ (например, герметичности, перфорации¹⁶ и растрескивания¹⁷) и с уровнем точности, связанным с применяемыми методами проектирования (например, линейными, нелинейными, трехмерными (3-D) и динамическими).

3.22. Особую тщательность следует проявлять при определении статических нагрузок, эквивалентных зависящим от времени воздействиям, функций нагружения, моделирующих соударения между твердыми телами, пространственного усреднения и особых случаев нагружения конкретных элементов при одном и том же событии.

3.23. Многие нагрузки, соответствующие внешним событиям, описанным в последующих разделах и особенно в [2], являются нагрузками с короткой продолжительностью и быстрым нарастанием, для которых характерны конечная энергия или определенная передача импульса. Нагрузки часто локализованы и вызывают существенную локальную реакцию индивидуальной мишени, но с небольшим воздействием на массивные сооружения в целом. Функции зависимости нагрузки от времени могут быть получены экспериментально или путем аналитического моделирования, обычно на

¹⁵ Проектный предел – это интерпретация критериев приемлемости в терминах проектных параметров (например, упругости, максимального раскрытия трещин, отсутствия продольного изгиба и максимальной пластичности).

¹⁶ Перфорация – это состояние, когда ударившийся в мишень предмет полностью прошел через нее.

¹⁷ Растрескивание – это откол кусков неправильной формы с поверхности мишени, противоположной той, в которую ударяет летящий предмет.

жестких мишенях. Некоторые предложенные процедуры определения функции нагружения, используемые в некоторых государствах, представлены в Приложениях I и II.

3.24. Вообще говоря, полный трехмерный анализ области текучей среды методом конечных элементов (импульса, в случае ветра или взрывов) или полный анализ воздействия (удара, в случае авиационной катастрофы или связанных с торнадо летящих предметов) не используется в процессе проектирования для определения соответствующей функции нагружения. В инженерно-техническом сообществе были выполнены весьма детальные исследовательские программы, и в некоторых случаях теперь имеются упрощенные инженерно-технические подходы, обеспечивающие надежность процесса проектирования и основанные на интерпретации результатов испытаний или данных численного анализа.

3.25. Разработчику проекта следует проводить весьма тщательную оценку основных допущений и пределов применимости таких упрощенных методов с целью проверки их применимости для представляющего интерес случая и их совместимости с общим уровнем точности, требуемым при проектировании. Следует всегда проводить анализ чувствительности входных данных и различных приемлемых подходов.

3.26. Для конкретных конфигураций компоновки следует проводить дополнительные исследования с использованием численного анализа и/или физических испытаний: типичными примерами являются эффекты группирования градиент, динамического усиления в случае высоких и тонких труб или, в случае авиационной катастрофы, динамические эффекты взаимодействия больших и гибких панелей.

СОЧЕТАНИЯ НАГРУЗОК И КРИТЕРИИ ПРИЕМЛЕМОСТИ

3.27. Ввиду нечастого характера и весьма малой продолжительности статистически независимых нагрузок, создаваемых любым одиночным ПВС, их обычно объединяют только с нормальными эксплуатационными нагрузками, используя для всех нагрузок значение коэффициента нагрузки, равное единице. Обычно нет необходимости объединять сочетающиеся нагрузки, связанные с ПВС, такие, как нагрузки в результате авиационной катастрофы и взрывов. Однако все воздействия одиночного ПВС следует надлежащим образом распределять во времени и объединять, обращая должное внимание на физическое значение сочетаний. Таким образом, для случая авиационной

катастрофы следует объединять различные воздействия, связанные с ударом (например, воздействия летящих предметов, индуцированные колебания и пожары вследствие возгорания топлива). Кроме того, в случае наличия причинной связи между событиями (такими, как взрывы, вызванные землетрясениями, или затопление, вызванное прорывом плотины), воздействия следует должным образом распределять во времени и объединять. Сочетания для случая метеорологических явлений и наводнений всесторонне обсуждены в [3].

3.28. Критерии приемлемости (например, герметичность, устойчивость и работоспособность) следует оценивать согласно классификации узлов по отношению к воздействию внешних событий. Такие критерии следует интерпретировать в терминах проектирования, приводящих к соответствующим проектным пределам (например, разрешенной скорости утечек, максимальному раскрытию трещин, упругости и максимальному смещению). Однако для этого процесса следует отметить, что в то время как на практике проектирование защиты от создаваемых ПВС нагрузок проводят на основе явлений упругости с использованием нормальных эксплуатационных пределов, ярко выраженный локальный характер этих нагрузок может делать оценку запаса безопасности очень ненадежной, и поэтому следует всегда предпочитать, насколько это возможно, надлежащее моделирование реальных физических явлений.

3.29. Проектирование на основе локальных пластических деформаций, обеспечивающих поглощение энергии, передаваемой нагрузкой, приемлемо при том условии, что это не приводит к нарушению общей устойчивости конструкции. Неупругое поведение (ограниченные пластические деформации) в целом допустимо для отдельных деформируемых конструктивных элементов (балок, плит и их соединений) в тех случаях, когда локальная неупругая деформация не создаст опасности для устойчивости сооружения в целом, а также для защитных субструктур (ограничителей и барьеров), единственная функция которых заключается в том, чтобы обеспечивать защиту от нагрузок, создаваемых ПВС.

3.30. Ограниченное глобальное или системное неупругое поведение (глобальные пластические деформации) также допускаются для рамных конструкций, стен жесткости и других типов структурных систем. Однако сооружение в целом следует проверять на устойчивость к реактивным нагрузкам, создаваемым отдельными элементами или подструктурами, и следует обеспечивать, чтобы характер его реакции в целом оставался линейным.

ОБЩИЕ РУКОВОДЯЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ПРОЦЕДУРАМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СООРУЖЕНИЙ И АТТЕСТАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ

3.31. Процедуры проектирования следует выбирать в соответствии с точностью, необходимой для соблюдения проектных пределов. В современной практике проектирования с учетом ПВС зачастую необходимо использовать ряд численных моделей (методы конечных элементов, конечных разностей и фиксированных контрольных объемов), как локальные, так и глобальные, и расчетные формулы, ориентированные на описание статической работы конкретной оцениваемой конструкции.

3.32. Следует обеспечивать согласованность моделей, используемых при проектировании, и поэтому особое внимание следует уделять оценке потока данных от одной к другой. В случае численных моделей, используемых в последовательности, следует обращать внимание на уровень точности любого задания в последовательности, с тем чтобы гарантировать, что конечные результаты представляют реальную динамическую реакцию конструкции.

3.33. Следует обеспечивать, чтобы уровень детализации в численных моделях позволял правильно представлять стандартную работу конструкции: следует проанализировать необходимость весьма точного моделирования (например, конструкционных швов, стальной арматуры в железобетоне, структурных сопряжений и облицовок), помня о необходимости уравновесить точность и надежность анализа.

3.34. Сетку конечных элементов следует обосновывать для любого конкретного случая нагружения, который будет представлен. Нагрузки малой продолжительности (типичные при взрывах) часто требуют специальных моделей, отличных, например, от традиционных динамических моделей, используемых для сейсмического анализа. В частности, для того, чтобы избежать ложных эффектов фильтрации, следует использовать плотную сетку конечных элементов для представления вибрационного поля в конструкции на высоких частотах (выше 20 Гц). Кроме того, в схемах явного интегрирования по времени следует задавать ограничения размера сетки конечных элементов, с тем чтобы избежать численных неустойчивостей.

3.35. При определении граничных условий для численных моделей следует учитывать нижеизложенное:

- оценку влияния свойств основания или опоры на реакцию глобальных моделей;

— оценку граничных условий для локальных моделей, эквивалентных реакции остальных конструктивных частей.

3.36. Следует обеспечивать, чтобы методы проектирования, статические или динамические, линейные или нелинейные, соответствовали основным характеристикам нагружения и оцениваемому проектному пределу. Особое внимание следует уделять обеспечению того, чтобы динамическое поведение модели было типичным для входного частотного спектра.

3.37. Вследствие высокой вариабельности результатов, присущей сложным подходам к моделированию, следует проводить валидацию любых методик проектирования, используемых при моделировании ПВС, численном или аналитическом, путем анализа чувствительности входных данных и оценивать их посредством альтернативных подходов с различными уровнями сложности.

3.38. Методы проектирования на основе результатов испытаний особенно подходят для анализа нагрузок, связанных с внешними вызываемыми деятельностью человека событиями, включаемыми в основы проекта, ввиду большого разброса прогнозируемых реакций, наблюдаемого при нелинейном численном анализе без использования компьютерных решений, основанных на контрольных показателях. Однако следует проявлять крайнюю осторожность при использовании эмпирических или полуэмпирических подходов вне диапазона параметров соответствующей базы данных.

3.39. Расчетные колебательные движения и механические воздействия (например, вызываемые обломками, вторичными летящими предметами и зазорами) на сооружения защиты следует анализировать, независимо от любой оценки проектных пределов и до нее, а также перед аттестацией закрепленного связанного с безопасностью оборудования. Соответствующий запас неопределенности для результатов (обычно спектров реакций на перекрытиях зданий), связанный с допущениями при моделировании и с внутренне присущим разбросом входных данных, следует устанавливать на основе инженерно-технической оценки.

3.40. Классифицированное по ВС оборудование, необходимое для выполнения функций безопасности в течение ПВС и после его возникновения, следует подвергать функциональной аттестации на воздействие соответствующих условий, включая колебательную нагрузку. В частности, аттестация на воздействие ударной или импульсной нагрузки может весьма отличаться от аттестации на создаваемые землетрясением колебания, и поэтому следует

выбирать особые процедуры в соответствии с требуемым функциональным параметром (устойчивостью, целостностью и работоспособностью).

3.41. Условия аттестации следует сравнивать с требованиями, обычно представляемыми функциями вибрационных, ударных или импульсных воздействий в местах закрепления на опоре конструкции, однако весьма жесткие требования могут быть получены, если исходить из необходимости обеспечения работоспособности в условиях воздействия пыли, дыма, влажности, низких температур или коррозионно-активной атмосферы в сочетании с воздействием напряжений. Следует обеспечивать достаточные запасы безопасности в соответствии с классификацией узлов.

3.42. В случае некоторых ПВС, таких, как воздействие коррозионных сред или биологических явлений, ухудшение свойств происходит в течение значительного периода времени. В таких случаях при проектировании, возможно, нет необходимости обеспечивать высокие характеристики и долговечность защитных мер при условии, что узлы или части узлов, подверженные явлениям деградации, могут инспектироваться. Масштабы, периодичность и методы инспекционных режимов следует определять, исходя из скорости деградации. Следует также предусматривать возможность повторного применения предписанных защитных мер, или в проекте следует предусматривать обработку с целью замедления, остановки процессов повреждения или восстановления исходного состояния.

СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

3.43. Следует исходить из предположения о том, что свойства материалов соответствуют интенсивности нагрузки и спецификациям процедур приобретения материалов, строительства и ОК, требуемым в соответствии с классификацией ВС. Для некоторых включаемых в основы проекта внешних вызываемых деятельностью человека событий, при учете которых требуется проектирование защиты от импульсных и динамических нагрузок, соответствующие данные о свойствах материалов следует получать из стандартной справочной литературы. Они могут также включать в себя соображения, связанные со статистическими вариациями и вариациями скорости деформации, которые значительны для ударных нагрузок¹⁸. Оба типа

¹⁸ Ударная нагрузка – это нестационарная нагрузка малой длительности, характеризующаяся определенной передачей импульса.

вариации представляют увеличения предела текучести по сравнению с заданными минимальными значениями, и их следует принимать во внимание при прогнозировании реалистических нагрузок реакции или передаваемых нагрузок от элемента конструкции, на который воздействуют включаемые в основу проекта внешние события, вызываемые деятельностью человека [20].

3.44. При проектировании подвергающегося воздействию элемента обычно предполагают увеличение предела текучести с увеличением скорости деформации, но не статистическое увеличение¹⁹.

ЭФФЕКТЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

3.45. ПВС могут приводить к прямым повреждениям на станции: такие воздействия называются «первичными воздействиями». Кроме того, они могут приводить к косвенным повреждениям («вторичным воздействиям») посредством механизмов взаимодействия, которые могут вызывать распространение повреждений. Эти косвенные повреждения следует включать в анализ ПВС, поскольку они могут причинять ущерб, превышающий ущерб от первичных воздействий. Вторичные воздействия прямо рассмотрены в классификации (ВС-K2).

3.46. При систематическом анализе влияния эффектов взаимодействия на узлы, связанные с безопасностью, и действий оператора, рассматриваемых при проектировании, следует оценивать и, возможно, включать в основы проекта приведенные ниже факторы:

- (a) вторичные летящие предметы (такие, как куски металла или бетона, отделившиеся от стен, стальных конструкций, или части самого воздушного судна, обычно двигатели);
- (b) падающие предметы, крепление которых ослабло вследствие вибраций (механическое взаимодействие);
- (c) отказ энергонапряженных труб и элементов (расширенное обсуждение см. в [7]);
- (d) затопление, создаваемое сооружениями, содержащими жидкости;

¹⁹ Статистическое увеличение определяют как разность между реальным значением параметра свойств материала и нижней границей или минимальным гарантируемым значением, принятым в стандартной справочной литературе.

- (е) химические реакции: сгорание, выбросы удушающих и токсических веществ и коррозионных жидкостей;
- (f) вторичные пожары в результате отказов электрооборудования;
- (g) электромагнитные помехи (расширенное обсуждение см. в [12]).

3.47. В процессе проектирования следует оценивать все каскадные вторичные эффекты отказа, вызываемого ВС. Характер эффектов взаимодействия таков, что потенциальный ущерб может быть самым различным. Возникают многие факторы, которые разработчик проекта не может контролировать, и их следует оценивать путем соответствующего осмотра станции (см. пункт 3.20). Ввиду этих трудностей следует отдавать на практике предпочтение средствам прерывания эффекта каскадирования, предпочитая глобальную защиту от события, а не индивидуальную защиту от всех потенциальных вторичных эффектов.

3.48. Особое внимание следует уделять потенциальным эффектам взаимодействия между элементами КПП (таким, как отказ градиент и затопление из бассейна КПП) и другими связанными с безопасностью сооружениями.

3.49. Следует производить отбор с целью оценки ситуаций, которые приводят к возникновению необходимости срабатывания систем безопасности вследствие взаимодействий в рамках основного сценария ПВС.

3.50. Следует учитывать возможность того, что ПВС приведет к возникновению отказов по общей причине вследствие эффектов взаимодействия.

ДОКУМЕНТАЦИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА

3.51. Оценку защиты атомной электростанции от внешних событий следует документировать таким образом, чтобы можно было проводить детальное техническое рассмотрение концептуальных допущений и детальных процедур расчета. В качестве минимального требования, в документации следует указывать рассмотренные события, их первичные и вторичные воздействия (если таковые будут иметься) и основу для определения достаточности защиты в каждом случае. В технической документации следует предусматривать полную регистрацию потоков данных между различными проектными заданиями в целях оценки точности.

3.52. Техническую оценку следует проводить в соответствии с требованиями программы обеспечения качества, на основе которой осуществлялось проектирование атомной станции, как определено в [21].

АВАРИЙНЫЙ МОНИТОРИНГ И ПОСЛЕАВАРИЙНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ

3.53. Когда ПВС рассматривается в качестве сценария для определения масштабных параметров большинства связанных с безопасностью КСЭ, следует проектировать, устанавливать и эксплуатировать систему мониторинга сооружений (например, параметров смещений, деформаций или напряжений) с целью предотвращения развития аварий (связанную с безопасностью и относящуюся к категории ВС-К1), в качестве поддержки подтверждения проектирования (это не связано с безопасностью, но относится к категории ВС-К1) и руководства действиями оператора после окончания события (это связано с безопасностью и относится к категории ВС-К1), как описано в разделе 2. Следует предусматривать, чтобы такие системы включали датчики на площадке, в сооружении и в некотором критическом оборудовании.

3.54. В тех случаях, когда это практически возможно ввиду характеристик события (например, времени развития и возможности прогнозирования), следует проектировать, устанавливать и эксплуатировать систему мониторинга окружающей среды, обеспечивающую подачу соответствующих предупредительных сигналов для принятия оператором аварийных мер в связи с ПВС с относительно медленным временем развития и в поддержку периодического рассмотрения безопасности на площадке [13] в качестве подтверждения характерной для конкретной площадки опасности. Следует разрабатывать руководящие принципы для действий оператора в случае аварии. Следует обеспечивать, чтобы в такую систему входили датчики на площадке и в местах нахождения потенциальных источников событий, включаемых в основы проекта. Если такая система поддерживает действия оператора в аварийной ситуации, ее следует классифицировать как связанную с безопасностью и относящуюся к категории ВС-С1.

3.55. Случаи возникновения внешних событий, значимых для безопасности станции, следует регистрировать, и о них следует докладывать. После возникновения внешнего события, либо близкого к ПВС, либо значимого для безопасности станции, следует проводить обширное обследование станции с целью оценки поведения КСЭ и последствий для них с учетом их классификации по безопасности и доступности и того, в какой степени они представляют все узлы, классифицированные по отношению к ВС.

3.56. При проектировании КПП и непосредственно связанных с ним систем теплопередачи следует предусматривать возможность проведения во время эксплуатации мониторинга и инспекций таким образом, чтобы обеспечивалась достаточная уверенность в сохранении их функциональных возможностей в течение всего срока службы станции.

3.57. Следует контролировать уровни воды в местах водозабора, баках или резервуарах и температуру воды или воздуха. Системы теплопередачи, непосредственно связанные с КПП, следует оснащать контрольно-измерительными приборами с целью контроля их функционирования или обнаружения отказов и нарушений во время эксплуатации систем. Следует контролировать параметры расхода, температуры и активности в системах, состояние элементов и другие соответствующие параметры.

3.58. В проекте следует также предусматривать положения относительно периодических испытаний систем теплопередачи, непосредственно связанных с КПП. Следует обеспечивать, чтобы проект допускал, насколько это практически осуществимо, проведение испытаний всех систем во время выработки электроэнергии или, по крайней мере, в режимах останова, в той степени, в какой это необходимо для подтверждения их работоспособности.

4. АВИАЦИОННЫЕ КАТАСТРОФЫ

ОБЩЕЕ ОБСУЖДЕНИЕ

4.1. В [2] приводятся рекомендации и руководящие материалы по проведению, применительно к конкретной площадке, рассмотрения потенциального риска авиационной катастрофы на площадке и на самой атомной электростанции. Результат этого рассмотрения, в основе которого лежит процедура отбора с целью выявления потенциальной опасности, связанной с авиакатастрофой, выражается либо через конкретные параметры воздушного судна (масса, скорость и жесткость) либо через функции нагрузка-время (с соответствующими зонами воздействия).

4.2. При вероятностном подходе к оценке опасности эта информация дополняется выбранным вероятностным пределом (значением), но это не должно использоваться при проектировании с использованием

детерминированного подхода (строительном и функциональном). При детерминированном подходе к оценке опасности стандартный вариант нагрузок может быть определен без прямой ссылки на тип воздушного судна или на вероятность возникновения.

4.3. КСЭ, для которых требуется проектирование с учетом защиты от авиационной катастрофы, определяются путем анализа безопасности, проводимого как указано в разделе 2. В разделе 2 определены общие функции безопасности, подлежащие выполнению на станции. Могут быть выбраны альтернативные пути достижения удовлетворительного выполнения этих функций. Прежде, чем будет определена окончательная классификация КСЭ по отношению к ВС, возможны неоднократные консультации между проектировщиками КСЭ.

4.4. Все КСЭ, классифицированные как ВС-К1, ВС-К2 и ВС-К3, следует проектировать или оценивать с учетом событий, связанных с авиационными катастрофами. В некоторых случаях и для некоторых явлений, таких, как общее ударное воздействие воздушного судна, выбранные сооружения могут быть ограждены другими сооружениями, предназначенными для защиты от авиационных катастроф. В таких случаях, возможно, не требуется проводить оценку непосредственного воздействия на защищенное сооружение.

4.5. Данных о повреждениях, возникших в результате падения воздушного судна на радиационный объект, не имеется, хотя вблизи таких объектов зафиксировано несколько авиакатастроф, иногда сопровождавшихся длительным (на расстояние 300 м) скольжением двигателей, оказавшихся на удалении от районов воздействия и нанесших ущерб коммунальным и промышленным объектам. Зафиксированы случаи злонамеренных и военных нападений с использованием невзрывных летящих предметов: может быть изучено их воздействие на сооружения, поскольку такие воздействия, как ожидается, аналогичны воздействиям при катастрофе воздушного судна, но в настоящем руководстве по безопасности они исключены из рассмотрения при проектировании.

4.6. Характер воздействий летящих предметов, образующихся вследствие ветровых нагрузок, обычно аналогичен воздействиям в случае авиационных катастроф, но они имеют меньший масштаб. В документе [2] обсуждены такие эффекты огибания применительно к опасностям, в то время как положения настоящего раздела могут быть легко адаптированы к случаям таких нагрузок.

4.7. Летящие предметы, образующиеся при взрывах, могут создавать серьезные опасности для станции. В то время как их исходный механизм обсужден в [2], их последствия для проектирования могут быть проанализированы согласно содержанию настоящего раздела, после соответствующей адаптации, причем авиационная катастрофа в большинстве случаев является более общим, огибающим сценарием.

4.8. Следует проанализировать постулируемую авиационную катастрофу с целью определения ее воздействия и мер, требуемых для ограничения последствий до приемлемого уровня. При оценке авиационной катастрофы обычно следует рассматривать указанные ниже факторы:

- общее повреждение конструкций подвергшихся воздействию сооружений, в том числе значительные структурные деформации или смещения, препятствующие выполнению сооружением его функции, разрушение или опрокидывание сооружения ('общие воздействия летящих предметов'²⁰);
- функциональный отказ КСЭ вследствие индуцированных колебаний в строительных элементах и связанном с безопасностью оборудовании («глобальные эффекты»), особенно когда узлы, связанные с безопасностью, расположены вблизи внешнего периметра сооружений;
- локализованное повреждение строительных конструкций вследствие воздействия летящих предметов, включая проникновение²¹, перфорацию, растрескивание и скалывание²², приводящее к отказу элемента конструкции или связанного с безопасностью оборудования в результате

²⁰ Общие воздействия летящих предметов – это воздействия, которые в значительной степени зависят от динамических и других характеристик мишени (КСЭ), подвергающейся ударному воздействию, и в силу этого не ограничиваются непосредственной зоной ударного воздействия (например, вибрации, отклонение конструкций).

²¹ Проникновение – это состояние, когда ударившийся летящий предмет образовал на подвергшейся удару поверхности выемку, но не пробил в мишени отверстия.

²² Скалывание – это выброс материала мишени с подвергшейся удару поверхности в результате воздействия летящего предмета.

воздействия первичных и вторичных летящих предметов («локальные эффекты»)²³;

- воздействие на КСЭ пожаров и, возможно, взрывов, связанных с разливом топлива.

НАГРУЗКИ

4.9. В случаях, для которых должны быть определены характеристики первичного летящего предмета (воздушного судна) и вторичных летящих предметов (двигателей и шасси), подлежащие определению характеристики летящих предметов включают, наряду с прочими, следующее:

- класс, скорость и углы удара рассматриваемого воздушного судна;
- масса и жесткость (являющиеся функцией длины воздушного судна), несущая способность и пределы общей пластичности или локальных напряжений конструкционных систем или элементов конструкций мишени и воздушного судна;
- размер и местонахождение зоны ударного воздействия;
- вторичные последствия одиночного удара, например, обломки, вторичные летящие предметы или разлив топлива.

4.10. В большинстве случаев для максимизации общих и локальных воздействий, как описано в [2], определяют соответственно два летящих предмета (воздушное судно и жесткие летящие предметы, такие, как двигатели или шасси). При рассмотрении сценария падения воздушного судна вблизи площадки, при котором жесткие летящие предметы (обычно двигатели) в скольжении соударяются с ядерными объектами, следует оценивать выбор репрезентативного летящего предмета, соответствующей зоны ударного воздействия и реалистического пути ударного воздействия.

4.11. В случае использования при проектировании стандартной функции нагружения (метод анализа изменения нагрузок по времени) следует обеспечивать, чтобы общие входные данные включали:

²³ Первичное воздействие летящего предмета - это воздействие на мишень либо вследствие прямого удара, либо рикошета летящего предмета, образовавшегося в результате первоначального отказа оборудования. Вторичное воздействие летящего предмета – это последующее воздействие, являющееся следствием первичных воздействий летящих предметов.

- заданную функцию нагрузка-время,
- размер и местонахождение зоны ударного воздействия.

4.12. При анализе воздействия на жесткие или массивные сооружения, для определения импульсной нагрузки обычно предпочитают использовать функции нагрузка-время, поскольку влияние поведения конструкций на характеристику функции воздействия предполагается незначительным.

4.13. В случае ударного воздействия на гибкие конструкции эквивалентная функция нагружения может сильно зависеть от динамического взаимодействия между летящим предметом и мишенью и поэтому особое внимание следует уделять определению характерной функции нагружения, применяемой для данной конструкции.

Использование функций нагрузка-время

4.14. Всякий раз, когда для летящего предмета необходимо определять эквивалентную функцию нагружения, это следует делать для определенного воздушного судна с использованием экспериментального или аналитического подхода. Функции нагружения могут также быть определены с использованием имеющихся данных путем корреляции физических характеристик летящего предмета и его исходных параметров, таких, как скорость при ударе. Были выполнены весьма широкие экспериментальные программы с полномасштабными воздушными судами и мишенями различной жесткости: их следует проанализировать с целью обеспечения достаточной уверенности в надежности полученных методов проектирования.

4.15. Особое внимание следует уделять номинальной жесткости мишени и общим исходным условиям, которые могут сильно различаться в различных местах подвергающихся удару зданий и могут также отличаться от данных эксперимента.

4.16. При аналитической оценке эквивалентной функции нагружения следует выполнять полный нелинейный анализ с гибкой мишенью и деформируемым летящим предметом с уделением особого внимания исследованию чувствительности результатов к самым разным допущениям, которые обычно оказывают влияние на такие подходы (например, нелинейные свойства материалов и моделирование эффектов эрозии). После моделирования следует производить сглаживание результатов с целью оптимальной фильтрации неизбежных ложных шумов численного интегрирования: следует обращать

внимание на то, чтобы из функции нагружения не были исключены физические высокочастотные эффекты.

4.17. В обоих случаях (аналитического или экспериментального исследования), хотя в этом отношении и нет точного согласия, функцию следует рассматривать в качестве усредненного представления случайной переходной нагрузки. Такое событие в любой конкретной форме (реальная авиационная катастрофа) тем не менее, привело бы к функции нагрузка-время, характеризующей пиками малой продолжительности и большой амплитуды, распределенными по временному отрезку катастрофы. Хотя, по определению, дополнительный суммарный импульс этих пиков малой длительности должен быть нулевым, они могут повлиять на устойчивость конструкции к проникновению, перфорации и растрескиванию, а также к индуцированным вибрациям, и поэтому следует выполнять отдельную оценку их возможного воздействия.

4.18. Полученные функции нагружения, подвергшиеся по существу процессу фильтрации, могут содержать компоненты с паразитными частотами, особенно в высокочастотном диапазоне (выше 20-30 Гц), с фиктивными острыми углами и прямыми кромками. Поэтому, вообще говоря, следует четко оценивать с инженерно-технической точки зрения, действительно ли применяемая функция нагружения представляет все воздействия на соответствующие сооружения при авиационной катастрофе, и выбирать процесс проектирования в соответствии с характеристиками функции нагружения.

4.19. Примеры функций нагрузка-время, стандартные летящие предметы и связанные с ними параметры, принятые в некоторых государствах для цели определения основ проекта, приведены в Приложении I.

Прямое моделирование удара летящего предмета

4.20. Если необходима детальная оценка локального повреждения или предполагается значительное динамическое взаимодействие между летящими предметами и мишенью, следует прибегать к прямому решению проблемы ударного воздействия. Поэтому следует иметь полное описание летящего предмета, так как применение эквивалентной функции нагружения не отражает физические явления.

4.21. Зону ударного воздействия следует оценивать на основе предположения о том, что в худшем возможном случае направление удара носовой части фюзеляжа самолета перпендикулярно представляющей интерес поверхности, с

последующей оценкой увеличения площади соприкосновения после разрушения фюзеляжа²⁴.

4.22. Следует учитывать, что воздушное судно может развалиться на части, каждая из которых может превратиться в отдельный летящий предмет со своей собственной траекторией. Анализ летящих предметов, которые могут образоваться, а также серьезности их воздействия следует проводить на основе инженерно-технической оценки с надлежащим учетом возможности одновременного удара по отдельным резервным системам. В особых обстоятельствах следует учитывать воздействие вторичных летящих предметов.

Воздействия, связанные с топливом

4.23. Возможные последствия выброса топлива, находящегося на борту потерпевшего катастрофу воздушного судна, следует оценивать на основе инженерно-технической оценки согласно приведенному ниже перечню потенциальных последствий:

- (a) горение авиационного топлива на открытом воздухе, вызывающее повреждение важных для безопасности внешних элементов станции;
- (b) взрыв части или всего топлива вне сооружений;
- (c) поступление продуктов сгорания в вентиляционные системы или системы подачи воздуха, что приводит к воздействию на персонал или вызывает нарушения в работе станции, такие, как электрические неисправности или отказы аварийных дизель-генераторов;
- (d) попадание топлива внутрь важных для безопасности сооружений через конструкционные проемы, отверстия, образовавшиеся в результате катастрофы, или в виде паров или аэрозолей через каналы для забора воздуха, что затем приводит к пожарам или взрывам.

Сочетания нагрузок

4.24. При выполнении анализа конструкций нет необходимости комбинировать все расчетные нагрузки с нагрузками в случае авиационной катастрофы. Обычно оказывается достаточным рассматривать сочетания нагрузок,

²⁴ В некоторых государствах для площадок, удаленных более чем на 5 км от аэродрома, рекомендуется считать, что угол между перпендикуляром к стенам и траекторией лежит в диапазоне 0–45°. В других государствах установлено ограничение угла между осью воздушного судна и горизонтом, который должен находиться в диапазоне 10–45°.

связанных с авиационной катастрофой, только с теми нагрузками, продолжительность которых, как ожидается, будет значительной — то есть, постоянными и временными нагрузками (не включая экстремальный снег или экстремальный ветер) и нормальными эксплуатационными нагрузками.

СТАНДАРТНЫЕ АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ

4.25. При проектировании или оценке общих повреждений конструкций может использоваться один из трех методов: метод баланса энергии, анализ кривых время-усилие или анализ взаимодействия летящего предмета и мишени.

4.26. В методе баланса энергии начальная кинетическая энергия летящего предмета сопоставляется с энергией деформации летящего предмета при ударе и разрушении и кинетической энергией и энергией деформации мишени при ударе. В этом методе рассматривается общее поведение системы, и он полезен при предварительном рассмотрении соображений, касающихся проектирования. Следует вырабатывать допущения относительно эффективной массы мишени и количества энергии, поглощаемой летящим предметом при ударе. В различных вариантах этого метода принципы сохранения импульса и сохранения энергии используются для определения эффективных начальных параметров мишени таким образом, чтобы определить общую прочность конструкции. Этот метод применяется для анализа лишь общего поведения и не позволяет получить детальных результатов, таких, как кривые изменения во времени перемещений для цели оценки оборудования. Он наиболее применим в случае простых конфигураций мишени.

4.27. В методе анализа кривых усилие-время данные кривых усилие-время вводятся в динамические модели конструкции мишени с целью определения поведения конструкции (структурных деформаций и смещений, скоростей и ускорений). Кривые усилие-время обычно получают на основе характеристик летящих предметов, исходя из предположения об ударе о жесткую мишень. Один из методов получения кривых усилие-время излагается в [15], где также приведены многочисленные кривые усилие-время, обоснованность применения которых подтверждена экспериментальными и аналитическими данными. Применение этих кривых для анализа гибкой конструкции обычно оказывается консервативным в плане оценки прочности конструкции, поскольку учет гибкости мишени снижает эффективную нагрузку. Помимо кривой усилие-время, следует определять на основе конкретных характеристик летящего предмета зону удара.

4.28. В методе анализа взаимодействия цель-летающий предмет выполняется прямой анализ удара с использованием комбинированной модели мишени и летающего предмета. Моделируются нелинейное поведение материалов и геометрия мишени и летающего предмета. Воздействие определяется начальной скоростью летающего предмета, и после воздействия поведение комплексной системы моделируется во времени. Иногда применяют упрощенный вариант этого метода, близкий к методу кривых усилие-время, в котором делаются определенные допущения относительно поведения летающего предмета при ударе (например, относительно энергии, поглощаемой самим летающим предметом во время воздействия), и продолжают динамический анализ мишени, учитывая начальные условия зоны воздействия (начальную скорость взаимодействующих узловых точек). Этот анализ позволяет определить поведение конструкции мишени (структурные деформации и смещения, скорости и ускорения).

4.29. Во всех случаях следует проводить исследования чувствительности с целью определения диапазона последствий и наиболее чувствительных параметров. Кроме того, при выполнении анализа указанных здесь конкретных проблем следует проводить валидацию и верификацию компьютерных кодов для нелинейного анализа.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И АТТЕСТАЦИЯ

4.30. Следует проанализировать постулированную авиационную катастрофу с целью определения ее воздействия и мер, требуемых для ограничения последствий до приемлемого уровня. При оценке воздействий авиационной катастрофы следует в целом рассматривать:

- общие изгибающие и поперечные нагрузки, воздействующие на конструкции («общие воздействия летающих предметов»);
- индуцированные колебания в строительных элементах и связанном с безопасностью оборудовании («глобальные эффекты»), особенно когда связанные с безопасностью узлы расположены вблизи внешнего периметра сооружений;
- локализованные воздействия первичных и вторичных летающих предметов, включая проникновение, перфорацию, растрескивание и скалывание («локальные эффекты»);
- воздействие пожаров и, возможно, взрывов, вызываемых топливом, на строительные элементы, а также незащищенное связанное с

безопасностью оборудование (вентиляционные системы, проходки защитной оболочки и дефлекторы воздуха).

Воздействия на конструкции в целом

4.31. В оценку общего воздействия следует включать анализ возможных значительных повреждений конструкции вследствие чрезмерных деформаций или смещений, не позволяющих конструкции выполнять ее функцию или приводящих к разрушению или опрокидыванию конструкции. При оценке общего воздействия следует моделировать распространение ударных волн, которые могут воздействовать на узлы, важные для безопасности.

4.32. Обычно предполагают, что ударная нагрузка действует перпендикулярно поверхности внешней конструкции, которая может подвергнуться непосредственному воздействию. Следует выполнять анализ общего воздействия с целью определения смещений в различных точках сооружений и расчета внутренних усилий в элементах, не подвергшихся непосредственному воздействию. Обычно зону воздействия и прилегающие к ней участки представляют в виде подструктуры глобальной модели.

4.33. При расчете изгибающих нагрузок и срезающих усилий наружные бетонные стены проектируют посредством либо линейного динамического анализа, либо эквивалентного статического анализа с применением обычных норм для бетонных конструкций, используя максимальное нагружение, создаваемое пиковым значением силы удара, умноженное на динамический коэффициент усиления и коэффициент пластичности. Значение этого коэффициента пластичности следует определять расчетным путем и обосновывать посредством испытаний. Обычно напряжения (нормальное напряжение, касательное напряжение, изгибающий момент и крутящий момент) рассчитывают на основе усилий, воздействующих на элементы, с использованием локальных упругих взаимодействий и линейных моделей. Следует принимать во внимание развитие ударной нагрузки во времени с целью обеспечения того, чтобы допускаемое пластическое поведение могло проявиться в течение требуемого времени.

Воздействия, связанные с колебаниями

4.34. Колебательные нагрузки, вызванные ударом, следует оценивать с помощью конкретного динамического анализа конструкций и оборудования, с учетом свойств материалов железобетона, подвергающегося динамическим нагрузкам (жесткости и демпфирования). Для всех основных конструкционных

элементов зданий, в которых размещено связанное с безопасностью оборудование, следует производить расчет спектров реакции на перекрытиях зданий. Для оценки передачи колебательного воздействия любому связанному с безопасностью оборудованию следует определять соответствующие передаточные функции. Следует проводить валидацию конкретной численной модели для динамического анализа переходных процессов таким образом, чтобы гарантировать надлежащее представление колебательного поля по крайней мере в том диапазоне частот, в котором энергетический спектр функции нагружения дает большие вклады.

4.35. При численном анализе функцию нагружения обычно вводят в упругую модель: в оценку результатов не следует включать зону удара и прилегающие к ней участки, где следует ожидать в основном нелинейных эффектов.

4.36. Грунт следует представлять в виде системы с демпфированной подпружиненной массой. Для нормальных фундаментов и условий площадки достаточно рассматривать усредненные динамические условия грунта на площадке, поскольку обычно предполагается, что изменение свойств грунта оказывает пренебрежимо малое влияние на такой глобальный анализ.

4.37. В численной модели следует учитывать массы структурных элементов, а также статическую нагрузку, создаваемую оборудованием станции. Жидкость, хранящаяся в резервуарах или бассейнах, может быть представлена в виде жесткосвязанных масс. Следует учитывать реальные временные нагрузки, а не обычно принимаемые проектные временные параметры условий нагружения.

4.38. При расчете реакции здания (перемещений и внутренних усилий) следует использовать пропорциональное скорости (линейное вязкое) демпфирование, проявляя осторожность, с тем чтобы избежать нереальных значений в диапазоне высоких частот.

4.39. В некоторых государствах принято использовать частоту среза высоких частот в получаемых спектрах реакции на перекрытиях зданий в диапазоне 20-30 Гц. Обычно так поступают в случае, когда четко определены конкретные структурные компоновки, и при этом учитывается сильное демпфирование в конструкционных элементах на таких высоких частотах и наличие в этих элементах трещин. Такое использование допустимо только в случаях, когда расчетное смещение ниже определенного порога приемлемости и происходит распространение перемещения по конструкции.

Локальные воздействия на конструкции

4.40. В зависимости от типа воздушного судна, конкретного расположения зоны удара и свойств стены, воздействие удара воздушного судна может быть весьма нелинейным и характеризоваться высоким поглощением энергии. Во всех случаях локальные эффекты ударного воздействия, обычно связанные с жесткими летящими предметами (такими, как двигатели или шасси), следует оценивать либо посредством использования нелинейных расчетов с ограниченными локальными деформациями в точке удара, либо с помощью эмпирических или полуэмпирических численных формул, полученных для конкретной конфигурации.

4.41. В случае численного нелинейного анализа модель может описывать только ту часть всей конструкции, в которой проявляется нелинейное поведение. Часть модели, в которой анализируется нелинейное поведение, следует распространять за пределы зоны удара, обычно до точек, в которых могут применяться соответствующие граничные условия. При численном моделировании железобетонных мишеней следует включать в анализ арматуру железобетона.

4.42. Следует обеспечивать, чтобы моделирование представляло процесс удара выбранного деформируемого летящего предмета о мишень. Только в том случае, если в результате предварительной оценки относительной жесткости установлено, что влияние динамического взаимодействия этих двух тел пренебрежимо мало, или если было определено, что такой подход является консервативным, проблема может быть упрощена и для анализа зоны удара может применяться функция нагрузка-время. В этих случаях при анализе репрезентативности решения следует широко применять инженерно-техническую оценку.

4.43. Альтернативный подход основывается на применении эмпирических и полуэмпирических аналитических формул, полученных главным образом для жестких летящих предметов. Однако большая часть имеющихся формул, которые были выведены для жестких летящих предметов, имеет тенденцию давать завышенные прогнозируемые значения толщины стен, необходимой для предотвращения перфорации и растрескивания бетонных конструкций. Диапазоны формы, массы, жесткости и скорости, для которой они были разработаны, обычно не совпадают со значениями, представляющими интерес в типичной проблеме падения воздушного судна на атомную электростанцию. Поэтому следует широко применять инженерно-техническую оценку применимости формул этого типа.

4.44. При проектировании локального усиления бетонных конструкций геометрия перфорирующего конуса обычно определяется радиусом зоны удара, толщиной оболочки и углом перфорирующего конуса²⁵.

4.45. Следует обеспечивать, чтобы свойства материала конструкционной стали, арматуры железобетона и бетона для рассмотрения в таких оценках отражали реальную пластичность материалов (определенную путем испытаний), и следует также учитывать эффекты скорости деформации, если скорость соударения соответствует параметрам выбранного сценария. Коэффициенты запаса прочности могут быть увеличены для случая непосредственного соударения со связанными с безопасностью конструкциями и уменьшены для случая соударения с защитными экранирующими конструкциями.

4.46. Подвергающиеся прямому ударному воздействию бетонные элементы следует укреплять с обеих сторон с использованием достаточного числа хомутов. В плоских несущих конструкциях следует предусматривать сетчатую арматуру.

4.47. Арматуру следует проектировать в соответствии с минимальными и максимальными значениями внутренних усилий, рассчитанными на основе полученной временной диаграммы, и при надлежащем комбинировании с другими предписанными условиями нагружения.

Воздействия, связанные с топливом

4.48. Воздействия взрывов топлива, после их количественного определения, следует учитывать в соответствии с рекомендациями, приведенными в разделе 5 или в [6].

4.49. Соответствующие вызываемые пожарами нагрузки следует непосредственно связывать с количеством топлива на борту стандартного воздушного судна (согласно принятому сценарию взлета, полета или посадки) и с потенциальным вкладом других горючих веществ, присутствующих на площадке.

²⁵ Во многих государствах минимальный угол к перпендикуляру к поверхности принимается равным 35°.

Аттестация оборудования

4.50. Исходя из классификации оборудования по безопасности, колебания, вызываемые ударом воздушного судна, следует оценивать с учетом вида отказов оборудования. Следует обеспечивать, чтобы классификация оборудования с учетом внешних событий включала требующуюся функцию оборудования во время удара и после него. В надлежащих случаях могут приниматься во внимание положения относительно отказоустойчивости и восстановления исходного состояния.

4.51. В случае, когда оборудование не было четко аттестовано на воздействие коротких нестационарных нагрузок, а только на воздействие стационарных колебаний в низкочастотном диапазоне, типичном для аттестации сейсмостойкости, следует выполнять специальную аттестационную программу, так как аттестация сейсмостойкости не позволяет получить никакой информации о реакции на импульсные нагрузки.

4.52. В том случае, когда выполнена аттестационная программа для ударных импульсов, при оценке прочности оборудования следует учитывать кумулятивные повреждения в результате колебаний, вызванных ударом воздушного судна.

4.53. Следует обеспечивать, чтобы в оценку были включены все критические виды отказов, определенные при выполнении анализа безопасности для любого оборудования и связанные с функциональными возможностями, целостностью и устойчивостью.

СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ

4.54. Так как ударные нагрузки, связанные с включенной в основы проекта авиационной катастрофой, могут превышать нагрузки, связанные с большинством природных явлений или другими событиями, вызываемыми деятельностью человека, следует оценивать потенциальную возможность повреждения любого узла, важного для безопасности. В целом невозможно на консервативной основе предполагать, что защиты, предусмотренной по другим причинам, окажется достаточно для обеспечения защиты от авиационной катастрофы. Однако сравнение с аналогичными воздействиями, связанными с другими событиями, способно показать, что защита, предусмотренная от других событий, может выдерживать некоторые потенциальные последствия авиационной катастрофы.

4.55. В тех случаях, когда защита от авиационной катастрофы и связанных с ней физических воздействий обеспечивается посредством проектирования, следует иметь в виду различные глобальные и локальные физические воздействия катастрофы. Глобальные воздействия (колебания) следует учитывать посредством локальных или глобальных проектных решений, таких, как экранирование элементов, применение барьеров, мер виброизоляции или обеспечение резервирования и достаточного разнесения элементов.

4.56. Глобальные воздействия следует рассматривать для всех элементов, важных для безопасности, расположенных в подвергающемся удару здании. Например, в здании реактора колебания, вызванные ударом, могут передаваться через конструкции или фундамент к местам нахождения различных элементов. Значения аналитических параметров среза могут быть подкреплены инженерно-технической оценкой (см. пункт 4.39).

4.57. К числу возможных осуществляемых защитных мер относятся: изменение путей распространения колебаний в конструкции (путем введения конструкционных разрывов и/или экранирования); рассмотрение компоновки оборудования (с размещением связанного с безопасностью оборудования как можно дальше от потенциальных зон воздействия); выполнение программы аттестации оборудования на вибростойкость; или локальная изоляция опор оборудования. В этом последнем варианте (локальная изоляция) особое внимание следует уделять исключению неблагоприятного изменения сейсмической реакции, которая обычно доминирует над динамической реакцией конструкции на более низких частотах.

4.58. В тех случаях, когда локальное разрушение строительных конструкций (в том числе растрескивание) может ухудшать выполнение функции безопасности путем повреждения оборудования, важного для безопасности, следует принимать перечисленные ниже меры (возможно, в сочетании):

- следует повышать прочность конструкции защитного сооружения или улучшать ее компоновку путем увеличения толщины защиты и/или применения армирования (или укрытия грунтом в случае подземных распределительных систем), добавления экранов защиты от летящих предметов или применения других надлежащих мер;
- резервное оборудование следует располагать на достаточном расстоянии (физическое разделение);
- для узлов, которые могут подвергаться воздействию, следует выполнять специальную программу аттестации оборудования.

4.59. Если показано, что применения защитных барьеров или сооружений недостаточно, следует предусматривать разнесение оборудования на такие расстояния, которые обеспечивают выживание системы в случае удара. Эти расстояния будут зависеть от размеров воздушного судна, с которым происходит предполагаемое соударение, и от характеристик принятой траектории полета. Как минимум, расстояния следует делать достаточными для того, чтобы воспрепятствовать снижению, в результате удара воздушного судна, способности системы выполнять функции безопасности ниже приемлемых уровней, например, путем применения резервирования. Следует оценивать промежуточные барьеры между первоначально соударяющимися поверхностями и системами и элементами, требуемыми для выполнения функций. Применение в сочетании принципов разделения, изоляции и неодинаковости может помочь обеспечивать функционирование КСЭ. В связи с этой проблемой следует также рассматривать возможность распространения пожара в зоне, намного превышающей зону удара, вследствие горения разлитого топлива и воздействия горящих обломков.

5. ПОЖАРЫ ВНЕШНЕГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

ОБЩЕЕ ОБСУЖДЕНИЕ

5.1. Зафиксировано лишь несколько аварий, вызванных пожарами внешнего происхождения по отношению к площадке атомной электростанции. В большинстве случаев они повлияли на энергоснабжение за пределами площадки или создавали угрозу действиям оператора вследствие выброса дыма и токсичных газов.

5.2. Пожары, возникающие вне пределов площадки (такие, как связанные с хранением топлива, транспортными средствами, возгоранием кустарников, торфа и древесины), могут иметь значение с точки зрения безопасности. Следует принимать профилактические меры по уменьшению количества горючих веществ вблизи станции и возле маршрутов доступа, либо устанавливать надлежащие защитные барьеры. Например, следует удалять растительность, которая может способствовать распространению пожара в непосредственной близости от станции. В рамках специального анализа для прибрежных площадок следует рассматривать возможность возгорания нефти при ее разливах в море (вследствие повреждения емкости с нефтью или

нефтедобывающей платформы). В случае необходимости следует принимать надлежащие меры с целью установления зоны отчуждения. Подробное обсуждение приведено в [2].

5.3. На площадках, для которых постулирован сценарий авиационной катастрофы, такая катастрофа обычно сопровождается выбросом значительных количеств топлива, которое, по всей вероятности, подвергнется воспламенению, и это может привести к последующим взрывам. Проектные меры на случай такого события обычно включают положения, необходимые для учета других сценариев пожаров внешнего происхождения, как упомянуто выше.

5.4. Следует обеспечивать, чтобы проект станции исключал возможность снижения эффективности необходимых функций безопасности и стабильности связанных с безопасностью сооружений на площадке в результате воздействия дыма или высокой температуры при пожарах внешнего происхождения.

5.5. В тех случаях, когда пожар внешнего происхождения распространяется по площадке или когда пожар возник на площадке, но вне связанных с безопасностью зданий (если источником пожара является трансформатор, склад топлива или транспортное средство на площадке), следует принимать меры противопожарной защиты общего характера, как указано в [6].

5.6. Дым или высокая температура могут воздействовать на вентиляционную систему. Ее следует проектировать таким образом, чтобы исключалось воздействие дыма и высокой температуры на резервные блоки систем безопасности, вызывающее утрату необходимой функции безопасности (включая действия оператора).

5.7. Дизель-генераторам для работы требуется воздух. В проекте станции следует предусматривать надлежащую подачу воздуха ко всем дизель-генераторам, требуемым для выполнения необходимых функций безопасности.

5.8. В тех случаях, когда площадка атомной станции такова, что требуется учет воздействий авиационной катастрофы на площадке или вблизи нее, следует проводить анализ пожарных опасностей, связанных с этим событием. В ходе анализа следует учитывать возможность возникновения пожаров в нескольких местах вследствие распространения топлива из воздушного судна. Задымление также может возникать в нескольких местах. Для предотвращения распространения пожаров на сооружения, содержащие важные для безопасности узлы, может использоваться специальное оборудование, такое,

как пеногенераторы и шанцевый инструмент, а также специально подготовленные команды для тушения пожаров на площадке и за ее пределами. (См. [6], раздел 2).

НАГРУЗКИ

5.9. Характеристиками подлежащего моделированию постулируемого пожара могут являться лучистая энергия, площадь пламени и форма пламени, проекционный коэффициент со стороны объекта, скорость распространения и продолжительность. Следует учитывать также такие вторичные эффекты, как распространение дыма и газов.

5.10. Воздействия пожаров внешнего происхождения, источниками которых являются, например, склады топлива, транспортные средства, кустарники, торф или древесина, следует объединять с нормальными эксплуатационными нагрузками. Пожары в рамках таких сценариев, как авиационная катастрофа, следует рассматривать с использованием того же сочетания нагрузок и тех же проектных параметров (например, в качестве запроектных внешних событий, для которых могут оказаться неприменимыми резервирование и критерии единичного отказа), что и в случае самого исходного события.

МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

5.11. Процедура проверки безопасности в случае постулируемого пожара заключается в определении максимального теплового потока, воздействующего на важные для безопасности здания, и проверке стойкости барьера, обеспечиваемого внешней оболочкой здания (бетон, сталь, двери и проходки).

5.12. Следует оценивать устойчивость сооружений к тепловому воздействию, являющемуся следствием больших внешних пожаров, по критерию собственной способности оболочки сооружений противостоять таким условиям окружающей среды. Следует обеспечивать, чтобы проверка основывалась на способности материала поглощать тепловые нагрузки без превышения соответствующих конструкционных проектных критериев. Способность бетона противостоять пожарам определяется в основном его толщиной, составом заполнителей, покрытием армирующей стали и предельной температурой на

внутренней поверхности²⁶. Ограничивающими конструкционными критериями могут быть температура в месте расположения первых стальных арматурных прутьев и разрушение поверхности, подвергающейся воздействию пожара.

5.13. Прочность железобетонных сооружений, предназначенных для восприятия ударных нагрузок, возникающих при авиационной катастрофе, обычно достаточно велика и позволяет противостоять отказам элементов конструкции, связанным со сценариями внешних пожаров. Вообще говоря, жаростойкость стальных конструкций при воздействии больших пожаров ограничена. Поэтому не следует предусматривать выполнения функций, связанных с безопасностью, стальными конструкциями, подвергающимися прямому воздействию внешних пожаров. Если огнестойкость стальных конструкций обеспечивается, например, путем удаления от внешней оболочки или нанесения вспучивающегося огнестойкого покрытия, следует провести проверку того, что эффективность такого улучшения противопожарной защиты не подвергается опасности вследствие вторичных эффектов, потенциально связанных со сценарием пожара (например, волн сжатия и летящих предметов при взрыве).

5.14. В целях защиты важных для безопасности узлов, находящихся в подвергающихся воздействию помещениях, следует оценивать и другие критерии, связанные с температурой на внутренней поверхности и температурой воздуха в помещениях. Обычно эти критерии не превышаются, если по причинам, связанным с другими соображениями, обеспечивается достаточная толщина. Следует также контролировать все виды проходов в конструкции.

5.15. В некоторых случаях при рассмотрении вероятности пожара в условиях, когда имеются толстые бетонные стены или плиты, следует выполнять анализ конструкции с учетом температурного градиента, обусловленного пожаром, а также любых дополнительных рабочих нагрузок в условиях пожара (например, создаваемых водой, используемой для тушения). В соответствии с экстремальными условиями нагрузки, при расчете предельных нагрузок для постулируемых при пожарах условий нагружения может использоваться коэффициент нагрузки, равный единице.

²⁶ Особое внимание в сценариях пожаров следует уделять вопросам жаростойкости высокопрочного бетона.

5.16. Следует обеспечивать, чтобы любая несущая нагрузку бетонная конструкция, предназначенная для защиты важных для безопасности систем от постулируемых внешних пожаров, имела минимальную толщину 0,15 м в расчете на стандартный пожар продолжительностью три часа.

5.17. Максимальные допустимые температуры материалов обычно указаны в строительных нормах. В качестве руководства можно принимать, что допустимая температура для арматурных стержней и конструкционной стали, подвергающихся воздействию краткосрочных (длительностью менее шести часов) пожаров, составляет 500°C [22]. Это значение может использоваться, если в соответствии с нормами или в результате другого обоснования не предусматривается иное значение.

СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ

5.18. Защиту станции от пожаров можно обеспечивать путем сведения к минимуму их вероятности и укрепления, при необходимости, барьеров против внешних пожаров. Следует также предусматривать другие проектные характеристики, такие, как резервирование систем безопасности, физическое разделение расстоянием, устройство отдельных пожарных отсеков или специальных барьеров, а также применение систем обнаружения и тушения пожаров.

5.19. Если внутренних возможностей конструкции недостаточно, следует предусматривать дополнительный барьер или разделение расстоянием. Может также рассматриваться возможность увеличения толщины бетона в конструкциях, подвергающихся воздействию, если это повышает способность конструкций выдерживать другие постулируемые нагрузки. Кроме того, для обеспечения дополнительной защиты элементов конструкции могут использоваться термостойкие облицовки или вспучивающиеся огнестойкие покрытия. Однако следует проводить проверку того, что эффективность таких улучшений не подвергается опасности вследствие воздействия вторичных эффектов, потенциально связанных со сценарием пожара (например, волн сжатия и летящих предметов при взрыве).

5.20. Вентиляционную систему можно защищать с помощью изоляции систем от наружного воздуха посредством заслонок с использованием альтернативных систем для выполнения функций вентиляционной системы. Этого можно также добиться путем разделения впускных и выпускных кожухов вентиляционной системы, обслуживающей одну систему безопасности, и впускных и

выпускных кожухов, обслуживающих другие, резервные системы безопасности. В этом случае пожар внешнего происхождения не будет препятствовать выполнению необходимой функции безопасности.

5.21. В проекте станции следует предусматривать надлежащую подачу воздуха ко всем дизель-генераторам, требуемым для выполнения необходимых функций безопасности. Достижение этой цели следует обеспечивать путем разделения воздухозаборников и разнесения их на достаточное расстояние.

5.22. Связанные с безопасностью контрольно-измерительные приборы и системы управления, которые, как установлено, особенно уязвимы к воздействию задымления и запыления, следует подвергать аттестации на случай возникновения такого сценария.

6. ВЗРЫВЫ

ОБЩЕЕ ОБСУЖДЕНИЕ

6.1. Данные недавнего опыта эксплуатации указывают на значительное число взрывов на площадке, источниками которых являются либо хранящиеся опасные или горючие материалы (нефть и отходы), либо трансформаторы после короткого замыкания или испарения охлаждающей текучей среды.

6.2. Взрывы во время обработки, обращения, транспортировки или хранения потенциально взрывоопасных веществ вне связанных с безопасностью зданий следует рассматривать в соответствии с документом [2], в котором определены параметры опасности. Следует проводить анализ каждого постулируемого взрыва с целью определения мер, подлежащих принятию с целью ограничения последствий до приемлемого уровня.

6.3. Взрывы внутри зданий станции, происходящие как следствие внутреннего выброса газа, обычно исключаются из основ проекта посредством соответствующей аттестации сооружений, удерживающих газ, и поэтому здесь они не обсуждаются. Однако такие сценарии рассматриваются в [7].

6.4. Слово «взрыв» используется в настоящем руководстве по безопасности в широком смысле для обозначения всех химических реакций, которые могут

вызывать существенное повышение давления в пространстве, окружающем твердое тело, жидкость, пар или газ, и могут приводить к возникновению импульсных и смещающих нагрузок, пожаров или теплового воздействия. Дополнительные подробные сведения приведены в Приложении II.

6.5. В зависимости от режима сгорания, взрыв может происходить как *дефлаграция*, при которой развиваются умеренные давления, температуры или пожары, или *детонация* (когда фронт реакции распространяется со сверхзвуковой скоростью) [23], при которой в ближней зоне развиваются весьма высокие давления и соответствующие смещающие нагрузки: обычно тепловые эффекты присутствуют только в случае специальных горючих воздушных смесей. Возможность возникновения дефлаграции или детонации при воспламенении конкретных паров химических веществ или газа зависит, прежде всего, от концентрации паров химических веществ или газа. При концентрациях, в два - три раза превышающих предел дефлаграции, возможно возникновение детонации²⁷.

6.6. *Взрывы облаков газа или пара* могут воздействовать на всю территорию станции. Поэтому следует обеспечивать, чтобы постулируемое облако газа или пара представляло наиболее тяжелый случай, связанный с возможным наличием на площадке облака газа или пара. Анализ способности строений станции выдерживать воздействие взрыва газового облака может обычно ограничиваться изучением их способности выдерживать нагрузки (прямые и

²⁷ Классификация взрывов может быть совсем иной: для детального анализа при наличии высокой опасности взрыва, такого, как анализ, требуемый для химических заводов, более подходит классификация, более тесно привязанная к физическим явлениям, связанным с различными механизмами взрыва. В рамках этой структуры к воздействиям, связанным с взрывами, следует относить взрывы облака пара, взрывы в замкнутом объеме, взрывы конденсированной фазы, неконтролируемые химические реакции, взрывы расширяющихся паров кипящей жидкости (ВРПКЖ) и физические взрывы; в то время как воздействия пожаров следует связывать с пожарами в емкостях, пожарами при горении струи, пожарами-вспышками и пожарами в форме огненных шаров. Эти последние воздействия могут быть связаны или не связаны с воздействиями взрывов, в зависимости от источника и окружающих условий. В данном случае следует исходить из упрощенного подхода, основанного на воздействиях на конструкции (которые зависят от режима сгорания), а не на анализе физического источника, поскольку при анализе опасности следует заблаговременно обнаруживать и смягчать последствия потенциальных воздействий источников, находящихся вблизи площадки (или даже на площадке), избегая высокого уровня опасности, типичного для химических заводов, который потребовал бы более детальных исследований. При этом обеспечивается согласованность с [2].

смещающие), связанные с избыточным давлением. Следует учитывать и другие воздействия: пожары, задымление и нагретые газы, колебания грунта и другие колебательные движения, и воздействия летящих предметов, образующихся при взрыве.

6.7. Свойства *взрывов твердых веществ* могут быть консервативно связаны с эквивалентностью тринитротолуолу (ТНТ) и с предполагаемым местом нахождения детонирующего вещества на поверхности грунта. Основным воздействием в случае детонации является нагрузка вследствие избыточного давления, однако при проектировании следует также рассматривать смещающую нагрузку, создаваемую ветром, образующимся после прохождения фронта взрывной волны.

6.8. При анализе реакции конструкций на взрыв обычно рассматриваются следующие воздействия взрывов:

- давление в падающей и отраженной ударной волне (в основном при детонации),
- временные зависимости избыточного давления и тормозного давления ,
- образующиеся при взрыве летящие предметы,
- индуцированное взрывной волной движение грунта (в основном при детонации),
- нагрев или пожар.

Относительное значение этих видов воздействий зависит в основном от количества и типа взрывчатых веществ, от расстояния между рассматриваемой конструкцией и источником взрыва, а также от особенностей геометрии и пространственного размещения конструкций и взрывчатого вещества.

6.9. В тех случаях, когда в качестве источника рассматриваемой при проектировании опасности определены расположенные около атомной электростанции промышленные установки, обслуживаемые трубопроводами, содержащими текучие среды, следует учитывать, как поясняется в [2], эффекты разрыва таких трубопроводов. Аналитику следует рассматривать возможность дрейфа газового облака к станции перед взрывом.

6.10. Хотя зарегистрированы случаи, когда летящие предметы были обнаружены на расстоянии нескольких тысяч метров от точки взрыва, вероятность того, что какое-нибудь значительное число крупных твердых летящих предметов будет отнесено на значительные расстояния в результате взрыва, невелика. Если станция спроектирована с учетом последствий

воздействия образующихся за пределами площадки летящих предметов, являющихся следствием других событий, таких, как ураганы, тайфун, торнадо или авиационные катастрофы, то тем самым будут учтены и последствия воздействия летящих предметов, образующихся в результате взрыва. Однако, если есть возможность определения особо опасных летящих предметов, образующихся в результате взрыва, их следует учитывать в проекте станции. Если в основы проекта не включены летящие предметы, образующиеся в результате авиационной катастрофы или природных явлений, то следует рассмотреть возможность учета летящих предметов, образующихся в результате взрыва.

НАГРУЗКИ

Введение

6.11. *Детонации* в твердом материале характеризуются резким повышением давления, которое распространяется от центра детонации в виде импульса волны сжатия со скоростью, равной или превышающей скорость звука в передающих средах. За ним следует импульс отрицательного давления намного меньшей амплитуды, обычно не учитываемый при проектировании, который сопровождается динамическим ветром, создаваемым движением воздуха, находящегося сзади волны сжатия, в направлении движения волны.

6.12. В отличие от детонации твердых материалов, параметры давления при взрыве жидких, парообразных и газообразных взрывчатых материалов сильно различаются. Такие материалы во многих случаях взрываются не полностью, и поэтому при расчетах следует учитывать детонацию только определенной части общей массы взрывчатого вещества (эффективный вес заряда). Остальная часть массы обычно воспламеняется (сгорает), и при этом большое количество химической энергии материала рассеивается в виде тепловой энергии, что, в свою очередь, может приводить к пожарам. Прекращение процесса детонации обусловлено физическими и химическими свойствами материала, комбинацией различных физических состояний, неэффективным реагированием топлива и окислителя и другими соответствующими факторами.

6.13. Воздействующие на конструкцию усилия, связанные со взрывной волной, появляющейся в результате внешней детонации, зависят от пиковых значений и изменения во времени давления падающей волны и действия давления

динамического ветра, включая характеристики отраженной взрывной волны, вызываемой взаимодействием с конструкцией²⁸.

6.14. При взрыве газового облака избыточное давление, создаваемое детонацией, является функцией интенсивности энерговыделения, а также суммарной выделяющейся энергии. Практика оценки различными государствами нагрузок, создаваемых избыточным давлением и связанных с взрывами газового облака, неодинакова. Учитывая результаты некоторых аварийных взрывов, которые, как считается, были слишком разрушительными, чтобы явиться результатом дефлаграции, по-видимому, целесообразно исходить из предположения о частичной детонации. В любом случае, кривая изменения избыточного давления во времени для конкретного сооружения в значительной степени зависит от расположения окружающих сооружений. Следует предполагать, что избыточное давление воздействует на открытую поверхность, с надлежащим учетом формы сооружения.

6.15. *Дефлаграции* обычно связывают с облаками относительно разреженного газа или пара, и в этом случае большая часть химической энергии рассеивается в виде тепловой энергии, а не взрыва. Следует также рассматривать тепловые нагрузки на конструкцию мишени. Они являются функцией характеристик горения воспламеняющегося материала.

6.16. Дефлаграция обычно приводит к медленному возрастанию давления на фронте волны и имеет значительную длительность по сравнению с детонацией, причем пиковое давление относительно медленно спадает с расстоянием, в то время как детонация может создавать более высокое избыточное давление, характеризующееся резким нарастанием и малой длительностью. Здание,

²⁸ В некоторых государствах на практике предполагается, что при рассмотрении проектного давления на каждую часть соответствующих конструкций следует принимать во внимание эффекты отражения и фокусировки, задаваясь горизонтальным направлением опорной волны, без какого-либо преимущественного угла. Максимальное избыточное давление на вертикальные стены, подвергающиеся воздействию отражений от более высоких зданий, принимают равным двукратному максимальному значению избыточного давления падающей волны. Максимальное избыточное давление на крыши, подвергающиеся воздействию отражений от более высоких зданий, принимают равным полуторакратному максимальному значению избыточного давления падающей волны. Следует предполагать, что продолжительность воздействия избыточного давления на вертикальные стены равна, по крайней мере, половине продолжительности воздействия падающей волны избыточного давления. Если возможны многократные отражения, следует провести расчет коэффициентов фокусировки как функции геометрии здания.

спроектированное с учетом дефлаграции, может также выдержать детонацию с более высоким избыточным давлением, если длительность воздействия этого избыточного давления достаточно мала по сравнению с периодом реакции конструкции. Темпы спада избыточного давления с расстоянием различны для случаев дефлаграции и детонации. Вблизи источника высокое пиковое избыточное давление детонации быстро убывает с расстоянием. Эти характеристики, помимо того, что они являются функциями дальности распространения, зависят также от метеорологических условий и топографии.

6.17. Значительное различие между дефлаграциями и детонациями заключается в воздействии на конструкцию мишени нагрузок, связанных с тепловыделением или пожарами. Как правило, нагрузки, связанные с тепловыделением или пожарами при детонации, не считаются частью основ проекта для конструкции мишени, но считаются таковыми в случае дефлаграции. Эти воздействия следует рассматривать на той же самой основе, что и пожары вследствие других событий, вызываемых деятельностью человека. Однако особенно в случае топливо-воздушных смесей, огневые воздействия, связанные с детонацией, могут быть значительными, и следует применять те же самые меры, что и в случае явлений дефлаграции.

6.18. Нагрузки, создаваемые избыточным давлением, нагрузки от падающей и отраженной *и сфокусированной* волны, в надлежащих случаях, нагрузки, создаваемые тормозным давлением, и тепловые эффекты следует объединять с нормальными эксплуатационными нагрузками.

Детонация

6.19. Существуют различные методы определения нагрузок при взрывах (тротильный эквивалент, мультиэнергетические методы, метод Бейкера-Стрелю и вычислительная гидрогазодинамика), разработанные главным образом для исследований опасностей на химических заводах [24]. В случае детонации твердых веществ наиболее широко используемым подходом является метод тротильного эквивалента. В случае облака газа или пара высота взрыва и характеристики реакции могут определять применение других подходов.

6.20. В контексте проектирования для атомной электростанции, опыт проектирования и эксплуатации показал, что эффекты, связанные с опасностью взрыва, близки к эффектам, связанным с другими источниками опасности (такими, как удары и ветер), и зачастую охватываются ими, и поэтому в случае

их применения к консервативным оценкам первого порядка в целях отбора²⁹ обычно оказывается обоснованным использование упрощенных подходов, таких, как метод тротилового эквивалента,.

6.21. Для целей проектирования или оценки конструкций следует задавать изменение или снижение давлений падающей волны и динамических давлений во времени, поскольку реагирование конструкции, подвергающейся воздействию нагрузки при взрыве, зависит от характера изменения нагрузки во времени, а также от характеристики динамической реакции конструкции. Идеализированная форма падающей взрывной волны характеризуется резким нарастанием давления до пикового значения, периодом спада давления до атмосферного и периодом, в течение которого давление ниже атмосферного (фаза «отрицательного давления»). Для целей инженерно-технической оценки обычно достаточно более простого представления только фазы положительного давления взрывной волны с учетом эффектов отраженной волны.

6.22. Анализ способности конструкций станции выдерживать воздействие взрывов обычно может быть сведен к оценке их способности выдерживать избыточное давление в свободном поле или давление отраженной и сфокусированной волны. При оценке воздействия на конструкцию пикового избыточного давления в случае детонации твердых веществ можно использовать зависимости давления от расстояния, выведенные для ТНТ. Для твердых взрывчатых веществ, плотность энергии которых отличается от плотности энергии ТНТ, следует брать из литературы значения поправочных коэффициентов, используемых при расчете весовых эквивалентов ТНТ. В отношении веществ, о которых известно, что они имеют взрывной потенциал, но взрывные свойства которых не были исследованы и сведены в таблицу, целесообразно принимать в качестве исходной посылки, что их взрывные свойства эквивалентны взрывным свойствам ТНТ.

²⁹ Особую осторожность следует проявлять в частности в случае взрывов газового облака, поскольку метод ТНТ дает завышенную оценку эффектов в ближней зоне и заниженную оценку эффектов в дальней зоне. В некоторых государствах применение эквивалентности ТНТ ограничено значениями избыточного давления 0,5 бар, а для более высоких значений используются другие подходы, такие, как «мультиэнергетические методы», в которых учитываются отдельные эффекты давления и ветра сопротивления, исходящие из различных ячеек взрыва. Однако такой недостаток моделирования можно преодолеть путем использования различных эквивалентов ТНТ в ближней и дальней зонах. В целом методы ТНТ считаются пригодными для больших расстояний от источника, при которых исходный механизм менее важен, и такой упрощенный подход является более реалистичным и имеет широкое применение.

6.23. Существуют два основных способа определения параметров основ проекта с целью защиты атомной электростанции от неприемлемых повреждений волнами сжатия, образующимися при детонациях:

- 1) Если вблизи от станции существует потенциальный источник, способный создавать постулируемое исходное событие (ПИС) волны сжатия, как определено в [2], можно провести расчет распространения волны к станции, и полученная в результате расчета волна сжатия и соответствующая тормозная сила послужат основой для проектирования.
- 2) Если уже существует проектное требование обеспечить защиту от других событий (таких, как торнадо), следует провести расчет значения соответствующего избыточного давления. Это значение позволяет рассчитать безопасные расстояния между станцией и любым потенциальным источником. Таким образом задаются расстояния от источника, на которых, согласно расчетам, воздействие волны сжатия не приведет к превышению избыточного давления, соответствующего основам проекта для другого события. Подобным же образом можно поступать, если существуют основы проекта для защиты всей станции от избыточного давления или если известны основы проекта наименее защищенной конструкции, системы или элемента, важных для безопасности.

Дефлаграция

6.24. Дефлаграционные нагрузки определены не так же четко, как нагрузки детонации. Практически в некоторых государствах коэффициенты дефлаграционной нагрузки задают в виде доли взрывчатого материала, подвергающегося риску, с учетом энергосвободы при дефлаграции по сравнению с детонацией. В таких расчетах нагрузки используется значение от 5% до 10% по весу.

6.25. Если пожар рассматривается в качестве вторичного воздействия взрыва, следует придерживаться рекомендаций, изложенных в разделе 5 и [7].

6.26. Сведения о методах расчета безопасных расстояний и некоторых зависимостей избыточного давления от расстояния, разработанных на основе успешного инженерно-технического опыта применения, приводятся в Приложении II.

МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МЕРЫ ЗАЩИТЫ

6.27. При проектировании сооружений зачастую учитывается необходимость обеспечивать их устойчивость к воздействию экстремальных нагрузок, таких, как нагрузки при ударе самолета, в результате воздействия торнадо и нагрузки, создаваемые летящими предметами или землетрясениями. Такие сооружения, имеющие стены из железобетона с минимальной толщиной порядка 0,5 м и спроектированные с уделением надлежащего внимания связям конструктивных элементов, обычно в состоянии выдержать воздействие значительного избыточного давления без ущерба для важнейших функций размещенных в них систем, важных для безопасности. Поэтому чаще всего нет необходимости предусматривать какие-либо дополнительные проектные меры в целях уменьшения воздействия включенных в основы проекта внешних взрывов, если только не будет установлено, что их воздействие будет более серьезным по сравнению с эффектами от других экстремальных нагрузок, уже учтенных в проекте. Более вероятно, что уязвимыми к воздействию взрывов будут такие системы, как аварийные источники питания, размещенные в относительно легких конструкциях, а также такие открытые и незащищенные узлы, как части конечного поглотителя тепла. Следует обеспечивать, чтобы эти системы прошли оценку для определения целесообразности внесения в проект особых положений, обеспечивающих надежную защищенность от воздействия любых постулируемых внешних взрывов.

6.28. Защиту от воздействий внешнего взрыва можно обеспечить путем проектирования конструкций, способных выдержать связанные с детонацией или дефлаграцией воздействия взрыва, или путем обеспечения должного расстояния между местом источником взрыва и конструкцией мишени, с тем чтобы учесть влияние пожара на тепловые нагрузки, связанные с дефлаграцией. Применительно к каждой требуемой функции безопасности следует проанализировать воздействие взрыва либо на соответствующую систему безопасности, либо на конструкции, в которых она размещена, в соответствии с их классификацией по отношению к ВС. В анализ следует включать оценку воздействия на систему подачи воздуха и вентиляционную систему. В большинстве случаев, учитывая, что эта система находится внутри конструкции, при анализе следует обеспечивать подтверждение того, что конструкция не пострадает в такой степени, что функция безопасности не сможет быть осуществлена и что любые заслонки систем подачи воздуха и вентиляционных систем выполняют требуемые функции безопасности.

6.29. При проектировании защиты от нагрузок, создаваемых взрывной волной, и тепловых нагрузок, могут быть рассмотрены защитные сооружения. Такие

сооружения наиболее полезны для защиты от взрывов, происходящих при разрывах корпуса или детонациях, поскольку их главное преимущество заключается в обеспечении защиты зданий от летящих предметов (в этом случае они должны располагаться на траектории летящих предметов) и защиту от избыточного давления взрывной волны (в этом случае барьер следует располагать близко к защищенному зданию, чтобы избежать рефракции давления позади стены). В Приложении II приведен пример из общей инженерно-технической практики оценки давления на защитное сооружение.

6.30. При расчете расстояний, необходимых для обеспечения защиты посредством разнесения, следует использовать эффект ослабления максимального избыточного давления и тепловой нагрузки при удалении от источника взрыва. Данные, имеющиеся для ТНГ, можно в определенных пределах применять и для других твердых веществ с использованием надлежащего тротилового эквивалента (примеры приводятся в Приложении II). Следует тщательно оценивать достаточность обеспечиваемой защиты в тех случаях, когда место взрыва, особенно связанного с транспортными средствами, может меняться, как, например, при авариях на транспортных магистралях, проходящих рядом с площадкой. Следует предполагать, в соответствии с [2], достаточное количество возможных мест взрыва, чтобы удостовериться в том, что проанализирована наихудшая из вероятных ситуаций.

6.31. Эффективные связанные с взрывом нагрузки на сооружения и соответствующие динамические ветровые нагрузки являются функцией не только динамической характеристики нагрузки, но также и характеристики динамической реакции структуры, которую следует прямо учитывать при анализе. Если, например, продолжительность нагрузки, создаваемой взрывной волной и динамическим ветром, весьма мала по сравнению с периодом собственных колебаний сооружения, то взрывная волна и ветер пройдут через сооружение прежде, чем оно сможет отреагировать на нагрузку.

6.32. Еще одним фактором, который следует учитывать, является воспламенение газа или паров, скапливающихся в ограниченных внешних пространствах станции, таких, как внутренние дворы или проходы. Взрывы в этих условиях могут приводить к возникновению высоких локальных избыточных давлений. С целью снижения вероятности таких взрывов следует обеспечивать, чтобы в проекте предусматривались, насколько это практически возможно, компактная компоновка, лишенная длинных проходов и внутренних дворов, или надлежащие проемы, предотвращающие возникновение взрывоопасной концентрации газов.

6.33. При оценке вызываемого взрывом повреждения конструкций следует проводить различие между локальной и глобальной реакцией конструкций. Локальную реакцию связывают с реакцией стеновых блоков относительно их несущих элементов (обвязки, обрешетки, балок и колонн). Применительно к локальным элементам конструкции, нагрузки, создаваемые взрывом, и динамические ветровые нагрузки обычно связывают только с их воздействием на локальную конструкцию.

6.34. Проектные решения включают добавление несущих элементов с целью увеличения прочности и уменьшения безопорных пролетов путем применения прочных несущих стен для повышения прочности, путем болтового соединения стен с крышами, полами и пересекающихся стен для повышения общей конструкционной прочности, и замену или укрепление дверей и окон на взрывостойкие элементы.

6.35. Глобальная реакция обычно связана с первичной системой, воспринимающей нагрузку, или элементами конструкции, включая рамы, балки, колонны, диагональные раскосы, стены жесткости и перемычки в полах, которые поддерживают общие элементы конструкции. Кроме того, общая реакция конструкции на нагрузку, создаваемую взрывом, является функцией взаимодействия нагрузок от воздействия взрыва с комбинацией или сборкой основных несущих нагрузку элементов. Глобальные элементы конструкции часто проектируются с учетом конкретных нагрузок в соответствии с действующими сводами положений и нормами для конструкций и подвергаются проверке с целью определения их способности выдерживать воздействие нагрузок при взрывах.

6.36. При динамическом проектировании элементов и оборудования следует оценивать колебательные нагрузки, создаваемые в конструкциях здания волнами сжатия, и рассчитывать соответствующие спектры реакции на перекрытиях зданий.

6.37. Значительные пластические деформации с переходом в область 'пластического' или неупругого поведения элементов конструкции также приводят к снижению эффективной частоты собственных колебаний или увеличению периода основных колебаний элемента. Локальные архитектурные элементы, и, в частности, не являющиеся несущими оштукатуренные или облицованные камнем стены обычно довольно хрупки и почти или вообще не обладают пластичностью. Однако глобальные элементы конструкции, через которые в основном распространяются нагрузки на конструкцию, обычно выполняют из железобетона или строительной стали. В их поведении, если они

должным образом проектированы в соответствии со стандартными требованиями строительных норм, обычно четко проявляются эффекты пластичности, и такой оценки обычно достаточно для того, чтобы доказать их способность выдерживать нагрузки. Фактически, эффекты пластичности и частотные эффекты приводят к повышению устойчивости основных несущих нагрузку элементов к воздействию создаваемых взрывом нагрузок малой длительности, типа нагрузок, связанных с детонацией химических веществ, по сравнению с локальными элементами конструкции, которые они поддерживают и которые следует подвергать прямой оценке.

6.38. К параметрам, обычно необходимым для определения реакции конкретной конструкции, относятся продолжительность нагрузки и период собственных колебаний при реакции конструкции, а также демпфирование и максимальный уровень пластичности конструкции при реакции. Поскольку основной интерес представляет начальный пиковый импульс нагрузки, демпфирование обычно не играет большой роли, в отличие от реакции на циклические нагрузки, типа нагрузок, создаваемых землетрясениями, при воздействии которых влияние демпфирования значительно. На основе этих величин, используя характеристики взрывной волны и характеристики динамической ветровой нагрузки, можно определить давление эквивалентной статической нагрузки, создаваемое силовой функцией в случае взрыва, с применением стандартных диаграмм для расчета и последующей проверкой и валидацией для конкретного применения³⁰.

6.39. Помимо энергии, поглощенной за счет пластической реакции конструкции, энергия также поглощается в процессе реакции на нагрузку различных частей конструкции. Этот вид поглощения энергии называют 'процентной долей критического конструкционного демпфирования' и он представляет собой явление, приводящее к постепенному затуханию циклической реакции на нагрузку.

³⁰ В некоторых государствах плоские железобетонные стены могут проектироваться с использованием уровня давления эквивалентной статической нагрузки, получаемого путем умножения максимального избыточного давления на коэффициент, равный 1,4. Этот коэффициент учитывает максимальное динамическое усиление (равное 2) и переход конструкции в стадию пластической деформации (коэффициент пластичности, равный 0,7).

7. УДУШАЮЩИЕ И ТОКСИЧНЫЕ ГАЗЫ

ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

7.1. Выбросы удушающих и токсичных газов могут оказывать как внешнее, так и внутреннее воздействие на атомную электростанцию, приводя к повреждению связанных с безопасностью систем или снижению их характеристик и затрудняя действия оператора. Например, может оказаться невозможным запустить оборудование, электропитание которого обеспечивают дизель-генераторы или газотурбинные генераторы, ввиду высоких концентраций негорючего газа в зоне их воздухозаборников и в связи с невозможностью выполнения операторами станции или помещения щита управления своих функций (из-за отравления газами) или ограничения возможности их перемещения таким образом, что они не могут выполнять связанные с безопасностью обязанности.

7.2. В документе [2] содержатся руководящие материалы и рекомендации по процедурам определения характеристик выбросов. В руководстве по безопасности приведены рекомендации по точной идентификации и оценке характеристик потенциальной опасности (скорости потока, продолжительности эмиссии и метеорологических условий). Требования в отношении выбросов изложены также в международных и национальных нормах и руководствах.

ДИСПЕРСИЯ

7.3. Токсичные и удушающие газы могут быть тяжелее или легче воздуха. Сразу же после выброса в атмосферу их концентрация в воздухе оказывается высокой, и разность плотности заставляет облако подниматься вверх или опускаться вниз. Движение воздуха в атмосфере приводит к постепенному рассеянию газового облака в результате его перемешивания с воздухом. Особое внимание следует уделять облакам тяжелых газов, состоящим из холодных газозооных смесей (таких, как смеси жидкого NH_3 и воздуха), которые могут распространяться на большие расстояния без рассеивания. В справочных материалах [25] рассматриваются вопросы дисперсии газов или аэрозолей, средняя плотность которых равна плотности воздуха. Эталонные значения пределов токсичности приводятся в Приложении III.

МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ

7.4. После того как в качестве постулируемого события избрано облако токсичного или удушающего газа, необходимо провести расчеты концентрации газа для ситуации перемещения или распространения газа над площадкой станции. Размеры облака, а также время взаимодействия следует определять для каждого отдельного случая в зависимости от источника и метеорологических условий. Если концентрация вне помещений станции известна, то можно рассчитать зависимость концентрации токсичных газов от времени для внутренних помещений станции с учетом норм забора и выпуска воздуха.

7.5. Для упрощения расчета можно исходить из предположения о том, что концентрация в облаке в течение времени взаимодействия со станцией остается постоянной. Кроме того, можно предположить, что во всех помещениях, входящих в одну систему вентиляции, концентрация газа одинакова. Эти посылки являются консервативными в отношении оценок концентрации газа, но не оценок времени рециркуляции или для определения запаса баллонов со сжатым воздухом для автономных дыхательных аппаратов: для этой цели следует проводить более точный анализ.

СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ

7.6. Не следует допускать в районе помещения щита управления возникновения таких концентраций токсичных или удушающих газов, которые могут приводить к утрате оператором способности управлять станцией. Приемлемые уровни концентрации для заданного времени взаимодействия можно определить на основе промышленных норм. Если источник токсичных или удушающих газов известен, следует предусматривать детекторы газа. В тех случаях, когда концентрации газа превышают приемлемые уровни, необходимо предпринимать защитные действия с должным учетом быстроты воздействия таких веществ, как, например, газообразный хлор. Эти действия могут включать фильтрацию поступающего воздуха, прекращение поступления воздуха в течение критического периода времени с использованием систем рециркуляции воздуха, а также использование автономных дыхательных аппаратов.

7.7. В самых крайних случаях для обеспечения остановки и мониторинга реактора может быть предусмотрено помещение резервного щита управления (ПРЩУ), удаленное от помещения центрального щита управления (ПЦЩУ) и

имеющее отдельную систему подачи воздуха от специальных воздухозаборников. Присутствие в воздухе некоторых типов токсичных или удушающих газов, например газов, выброс которых может происходить на транспортных магистралях (наземных, морских, речных и железнодорожных), нельзя определить заранее. Хотя практически невозможно обеспечить наличие детекторов, способных обнаруживать присутствие всех типов токсичных или удушающих газов, на те случаи, когда опасность может исходить от многочисленных источников газов, следует подумать об оснащении станции детекторами, которые были бы настолько универсальными, насколько это практически возможно (т.е. способными обнаруживать присутствие различных групп газов, таких, как галогены или углеводороды), а также позволяли обнаруживать снижение уровней содержания кислорода.

7.8. Следует предусматривать защиту маршрутов доступа из ПЦЦУ в ПРЦУ, с тем чтобы обеспечивалась возможность перемещения операторов, или в качестве альтернативы следует предусматривать меры для доступа персонала через пункт управления, в котором можно получить дыхательный аппарат.

7.9. В подобных ситуациях могут потребоваться такие защитные меры, как геометрическое отделение заборников воздуха, поступающего в помещение пульта управления; их целесообразно размещать на высоком уровне, особенно если необходимо учитывать возможность появления облаков тяжелого газа. Однако эффективность геометрического разделения может зависеть от способности своевременного обнаружения тем или иным способом присутствия токсичного или удушающего газа. Таким образом, для каждой конкретной площадки следует производить выбор характерных для нее средств защиты.

8. КОРРОЗИЙНЫЕ И РАДИОАКТИВНЫЕ ГАЗЫ И ЖИДКОСТИ

ОБЩЕЕ ОБСУЖДЕНИЕ

8.1. Выброс коррозионных газов или жидкостей (в том числе горячего пара и газа) на промышленных установках, расположенных вблизи площадке, или при транзите, например, при авариях судов или поездов, представляет потенциальную опасность. Утечки коррозионных газов и жидкостей могут также

происходить на складах химических продуктов на площадке. Учитывая требование о том, чтобы при газообразных выбросах из таких источников не превышались пределы токсичности, которые значительно ниже коррозионных уровней, такие выбросы обычно не будут создавать серьезной угрозы оборудованию.

8.2. К основным газообразным веществам, выбросы которых следует учитывать, относятся хлор, сероводород, аммиак и двуокись серы. Соленая вода, диоксид углерода, борная кислота и пар, используемые при эксплуатации станции, могут также считаться коррозионными газами и жидкостями. Коррозионные жидкие стоки могут попадать в систему охлаждения станции и приводить к ее повреждению. Кроме того, частицы, образующиеся при нефтяных разливах или коррозии трубопроводов, могут нарушать нормальную работу теплообменников, насосов и клапанов и воздействовать на узлы, связанные с безопасностью.

8.3. Потенциальную опасность представляют выбросы радиоактивных газов и жидкостей на соседних находящихся в эксплуатации энергоблоках АЭС, на транспортных средствах, содержащих свежее или отработавшее топливо, и выбросы из других источников на площадке и за ее пределами. Выбросы радиоактивных веществ могут оказывать как внешнее, так и внутреннее воздействие на атомную станцию, приводя к повреждению связанных с безопасностью систем или снижению их характеристик и затрудняя действия оператора.

МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

8.4. В [2] приведена информация о выбросах коррозионных и радиоактивных текучих сред и рекомендованы процедуры реагирования на них. Это руководство по безопасности наряду с другими соответствующими справочными документами следует использовать для определения коррозионных и радиоактивных текучих сред, которые необходимо принимать во внимание при разработке проекта станции с целью обеспечения выполнения проектных требований.

8.5. Применительно к облаку коррозионного или радиоактивного газа или коррозионного пара концентрацию газа внутри станции следует рассчитывать на основе уровня расхода воздухообмена, что позволяет вывести зависимость концентрации от времени. Масштабы и время взаимодействия газового облака или облака пара следует определять для каждого конкретного случая отдельно.

8.6. В тех случаях, когда коррозионная или радиоактивная жидкость в смеси с водой может поступать в заборник охлаждающей воды, необходимо рассчитывать временную зависимость ее концентрации в охлаждающей системе на основе данных о концентрации в охлаждающей воде непосредственно перед водозаборником.

СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ

8.7. В разделе 7 обсуждаются средства защиты персонала от удушающих и токсичных газов. При рассмотрении вопросов, связанных с нахождением персонала в помещении щита управления, и других связанных вопросов следует надлежащим образом выполнять рекомендации, содержащиеся в этих руководящих материалах.

8.8. Коррозионные или радиоактивные текучие среды могут поступать на станцию через систему водяного охлаждения. Поэтому особое внимание следует уделять системам, с помощью которых обеспечивается отвод тепла на станции.

8.9. Коррозионные или радиоактивные текучие среды могут также поступать на станцию через воздухозаборники вентиляционной системы. Особое внимание следует уделять выбросам радиоактивных газов вблизи воздухозаборников помещения щита управления и других мест, где присутствует персонал. Особое внимание следует уделять электрическому и электронному оборудованию, которое, как известно, весьма чувствительно к коррозии.

8.10. Поскольку коррозионные текучие среды могут воздействовать на внешние участки, такие, как трансформаторные подстанции, следует также уделять внимание внешнему электрическому и электронному оборудованию.

8.11. Следует показывать, что даже если коррозия происходит с максимально возможной скоростью, интервалы между инспекциями таковы, что коррозия не может нанести системам безопасности вреда в такой степени, чтобы утрата функции безопасности могла произойти прежде, чем подвергшаяся воздействию коррозии система будет отремонтирована. Защита систем может быть обеспечена различными способами: путем предотвращения постоянного контакта между коррозионно-активным веществом и корродируемой поверхностью; путем установки детекторов коррозионных газов, активизирующих запорные клапаны; посредством нанесения защитных

покрытий; создающих дополнительную толщину стенки, с тем чтобы можно было допустить определенную степень коррозии; или путем сокращения интервалов между инспекциями. Конкретные меры защиты, возможно, предусматривающие сочетание некоторых из этих методов, следует определять в каждом отдельном случае. В особых случаях может оказаться достаточным просто поддерживать в установленных пределах температуру или влажность воздуха, тем самым добиваясь замедления темпов коррозии.

9. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОМЕХИ

ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

9.1. При первоначальной оценке, как описано в [2], следует определять любые источники электромагнитных помех, которые могут приводить к неправильному срабатыванию в повреждению связанного с безопасностью оборудования или контрольно-измерительных приборов. Если такие помехи возможны, при проектировании станции следует предусматривать защитные меры.

9.2. Опыт эксплуатации показывает, что источники помех могут находиться как на площадке (высоковольтное коммутационное оборудование, портативные телефоны, портативные электронные приборы и компьютеры), так и за пределами площадки (радиопомехи и телефонная сеть).

МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

9.3. Сначала следует определять связанное с безопасностью оборудование, чувствительное к электромагнитному излучению. Следует проводить аттестацию этого оборудования путем испытаний, с тем чтобы показать, что оно способно работать в условиях имеющихся электромагнитных помех. В качестве альтернативного варианта, его следует экранировать или удалять из зоны электромагнитных помех.

9.4. Для любого оборудования КИПиУ, даже если оно не связано с безопасностью, следует определять уровень помех, с тем чтобы избежать

любого потенциального взаимодействия с узлами, связанными с безопасностью.

СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ

9.5. Защита от расположенных на площадке источников (высоковольтного коммутационного оборудования и питающих кабелей) может быть обеспечена путем соответствующего экранирования потенциальных источников и с помощью административных мер (например, в отношении использования телефонов). Защиту от помех за пределами площадки следует оценивать посредством соответствующей аттестации оборудования [12]. Особое внимание следует уделять установке аттестованного оборудования, обеспечивающего выполнение требований по электромагнитному излучению и помехозащищенности.

9.6. В случае высокочувствительного оборудования следует предусматривать соответствующее экранирование кабелей, в частности, для связанных с безопасностью узлов КИПиУ.

9.7. Следует уделять внимание потенциальному взаимодействию между узлами через электромагнитные помехи, включая также узлы, не связанные с безопасностью.

10. НАВОДНЕНИЯ

ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

10.1. В [3] приведены руководящие материалы по рассмотрению на конкретных площадках потенциального риска затопления площадки в связи с различными исходными причинами и сценариями (и их соответствующими потенциальными сочетаниями), а именно:

- выпадением на площадке дождя;
- затоплением водой после выпадения осадков за пределами площадки;
- таянием снега - сезонного или вследствие вулканизма;

- отказом гидротехнических сооружений (по гидрологическим, сейсмическим причинам и в результате сбоя в работе);
- прорывом естественных преград, образовавшихся в результате оползней, ледяных заторов, заторов из бревен или мусора и вулканизма (лава или зола);
- сходом лавин и/или оползней в водоемы;
- повышением уровня воды выше по течению вследствие блокирования русла (см. сценарии выше);
- изменениями естественного русла реки;
- штормовым нагоном, вызванным тропическим или внетропическим циклоном;
- цунами;
- сейшмами, также в сочетании с приливами;
- нагонными волнами, вызываемыми ветрами.

10.2. Все эти сценарии приводят к возникновению переходных процессов, воздействующих на уровень воды на площадке, статических эффектов (связанных с весом воды) и динамических эффектов (создаваемых водой, обломками и льдом).

10.3. Как внешние барьеры, так и естественные или искусственные острова станции следует рассматривать в качестве особенностей, важных для безопасности, и следует соответствующим образом проектировать, сооружать их и поддерживать их техническое состояние.

10.4. Любое осуществляемое человеком решение относительно усовершенствования площадки (плотины, валы, искусственные холмы и насыпи) может повлиять на основы проекта станции. Поэтому их включают в структуру оценки площадок, как обсуждается в [3].

10.5. Так называемые «инкорпорированные барьеры», непосредственно связанные с сооружениями станции (специальные подпорные стены и заглушки проходов) рассматриваются в [26], поскольку они не считаются частью защиты площадки как таковой.

10.6. Имеются многочисленные эксплуатационные записи опыта аварий, вызванных внешними наводнениями, в ходе которых произошло ухудшение функциональных возможностей связанного с безопасностью оборудования. Большая их часть связана с недостаточными мерами по защите площадки, с неудовлетворительным техническим обслуживанием дренажных систем и с воздействием льда на площадки, расположенные на реках.

10.7. В последнее время накоплено также много данных по внутренним протечкам, главным образом в результате неудовлетворительной герметизации конструктивных швов или кабелепроводов и смотровых проемов. Меры на случай таких событий связаны главным образом с проектированием, но следует обращать внимание на возможность повышения уровня грунтовых вод вследствие наводнения, поскольку их максимальный уровень является истинной основой проекта станции [25].

НАГРУЗКИ

10.8. Если внешние барьеры и естественные или искусственные острова на станции являются частью системы защиты площадки, то наводнение, включаемое в основы проекта для площадки, влияет прежде всего на защитные сооружения на площадке и водозаборные сооружения.

10.9. В качестве дополнительной меры против затопления площадки в результате воздействия источников, находящихся за пределами площадки [3], вследствие его пороговой характеристики в случае перелива воды через защитные сооружения, защиту станции от экстремальных гидрологических явлений следует дополнять мерами по обеспечению водонепроницаемости и путем соответствующего проектирования всех узлов, необходимых для обеспечения способности остановить реактор и поддерживать его в безопасном остановленном состоянии. Все другие системы и элементы, важные для безопасности, могут быть защищены от последствий наводнения, включаемого в основы проекта, меньшего, чем то, которое было использовано при проектировании защитных сооружений площадки и по существу связано с функционированием дренажной системы площадки.

10.10. Специальные эксплуатационные процедуры для выявленных причин затопления следует определять на основе оперативных данных мониторинга. Этот подход приемлем, если выполнены следующие условия:

- 1) имеется система оповещения, способная достаточно заблаговременно обнаруживать потенциальное затопление площадки, с тем чтобы можно было завершить безопасный останов станции, а также осуществлять надлежащие аварийные процедуры;
- 2) все узлы, важные для безопасности (в том числе системы оповещения с энергоснабжением от защищенных источников за пределами площадки), проектируются таким образом, чтобы они выдерживали условия, приводящие к затоплению (такие, как сила ветра и оползни), которые

рассматриваются как типичные для географического региона площадки (за исключением чрезвычайно редких сочетаний).

10.11. Воздействие воды на расположенные на площадке защитные сооружения и на сооружения станции может быть статическим или динамическим или может представлять собой комбинацию различных эффектов. Во многих случаях важными переменными при оценке давления являются воздействия льда и обломков, перемещаемых наводнением и волнами (или нагонной волной).

10.12. В случае осадков на площадке можно положиться только на дренажную систему и поэтому следует обеспечивать соответствующий запас безопасности.

10.13. При оценке основ проекта следует учитывать и другие факторы, связанные с наводнениями, главным образом ввиду их потенциального воздействия на эксплуатацию станции и целостность водозаборов и сооружений защиты. К ним относятся:

- седиментация материала, переносимого наводнением, обычно происходящая в конце наводнения (например, в устьях рек);
- изменение минерализации воды;
- эрозия контактирующей с водой стороны защитных сооружений и границы площадки в целом;
- засорение водозаборов льдом или обломками;
- высокое загрязнение воды взвешенным илом [3].

10.14. Наводнение, включаемое в основы проекта, следует соответствующим образом комбинировать со всеми различными включаемыми в основы проекта событиями, приводящими к самому затоплению [3].

10.15. Наличие охлаждающей воды и опасность засухи можно оценивать с помощью методов, аналогичных методу, представленному в [3] для наводнения.

МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ

10.16. Меры по защите площадки обсуждаются в [3] в рамках процедуры проверки пригодности площадки и условий, влияющих на определение самого наводнения, включаемого в основы проекта.

10.17. Вообще говоря, следует обеспечивать защиту от наводнения всех узлов, классифицированных по отношению к ВС, путем защиты сооружений или создания надлежащих активных или пассивных дренажных систем. Их функционирование во время аварии с затоплением следует гарантировать в рамках подхода глубоководной защиты посредством надлежащей программы экологической аттестации.

10.18. На основе результатов мониторинга окружающей среды и структурного контроля узлов защиты от паводков следует осуществлять надлежащие аварийные процедуры. Следует устанавливать связь с любыми расположенными поблизости системами оповещения о наводнениях, с тем чтобы в соответствующих случаях иметь возможность перевода станции в более безопасный режим.

11. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ВЕТРЫ

ОБЩЕЕ ОБСУЖДЕНИЕ

11.1. В документе [4] приведены руководящие материалы по рассмотрению на конкретных площадках потенциального риска тропических (тайфуны и ураганы) и внетропических циклонов, образующихся как на земле (торнадо), так и в морях или больших водоемах (водяные смерчи).

11.2. В настоящем разделе обсуждаются только вызываемое ветром абразивное воздействие песка и пыли или коррозионное воздействие солевой атмосферы: сопутствующие эффекты, такие как дождь и летящие предметы, образующиеся при воздействии ветра, рассматриваются в других разделах.

11.3. Опыт эксплуатации атомных станций показал, что экстремальные ветры воздействуют главным образом на электропитание и эксплуатационную готовность энергосети; однако иногда возникают повреждения также и на трансформаторных подстанциях. В ходе развития аварии обычно происходит аварийный останов турбины и потеря внешнего электроснабжения. В некоторых случаях перепад давления приводил к поступлению на контрольно-измерительные приборы ложных сигналов. На площадках, расположенных близко к морю, конденсирующиеся тяжелые соляные туманы со стороны моря в самых неблагоприятных случаях приводили к коротким замыканиям в

открытом электрооборудовании (в проходных изоляторах и распределительных устройствах), а впоследствии, к глубокой коррозии и сбоям в работе.

11.4. Ураганы, как известно, приводили к разрушению градирен в результате 'группового эффекта', хотя они были индивидуально спроектированы так, чтобы выдерживать еще более высокую скорость ветра.

НАГРУЗКИ

11.5. Получение профиля данных о скорости ветра и давлении рассматривается в [4]. Оценку локального воздействия ветра и давления на здание следует выполнять с учетом перемещения исходного циклона, помня при этом, что разрушающее воздействие таких сильных ветров является результатом сочетания их силы, неустойчивости и инерции. Эти величины следует включать в число параметров нагружения.

11.6. Следует всегда делать оценку группового эффекта, учитывающего влияние соседних зданий [4].

11.7. Для оценки локальных эффектов следует использовать нормы и своды положений, разработанные для анализа ветрового воздействия на обычные здания, с уделением особого внимания динамическим воздействиям ветра на крышу, несущие стены и остекленные проемы. Следует обеспечивать, чтобы стандартные значения номинальной скорости ветра соответствовали выбранной политике в отношении ПВС.

11.8. Следует обеспечивать, чтобы сочетания создаваемых ветром нагрузок ветра с другими расчетными нагрузками отражали характеристики максимального вероятного циклона, как описано в [4].

МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ

11.9. Ветер может воздействовать на структурную целостность легких поверхностей, но может также являться коренной причиной и других опасных воздействий, помимо воздействия летящих предметов и дождя, как обсуждается в соответствующих разделах. Перепад давления может воздействовать на вентиляционную систему; пыль и песок, переносимые ветром, могут повреждать открытые поверхности и препятствовать функционированию

элементов и оборудования. Осаждение соленой воды может создавать угрозу работоспособности электрооборудования.

11.10. Экстремальные ветры могут приводить к возникновению высоких градиентов локального давления, а также к образованию летящих предметов, способных повлиять на работу градирен. Однако продолжительность существования экстремальных градиентов локального давления, как ожидается, невелика, и предполагается, что их воздействие не будет приводить к неприемлемым режимам реактора. Это допущение следует подвергать тщательной оценке.

11.11. КПП и непосредственно связанные с ним транспортные системы следует изучать с целью обеспечения того, что любые изменения уровня воды в результате экстремального ветра не могут предотвратить передачу и поглощение остаточного тепла. В надлежащих случаях следует учитывать вероятные комбинации эффектов.

11.12. Могут оказаться значимыми эффекты взаимодействия с ветром, воздействующие на связанные с безопасностью конструкции: могут опрокидываться тяжелые и высокие подъемные краны, оставленные вне защитной оболочки, а также вытяжные трубы и градирни. Следует проводить специализированный анализ, и в случае, если они представляют опасность, обеспечивать надлежащее разделение.

12. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

12.1. В документе [4] приведены руководящие материалы по рассмотрению на конкретных площадках экстремальных метеорологических событий с группировкой по следующим опасным природным явлениям:

- экстремальные температуры,
- экстремальная атмосферная влажность,
- снегопады (также снежные бури) и паковый лед,
- молнии.

С этими опасностями могут быть связаны другие опасности, такие, как донный лед, мороз и град.

12.2. Большая часть этих опасностей воздействует на весьма специфические системы станции и обычно не рассматривается при оценке структурной целостности зданий, а именно:

- эксплуатационная готовность КПТ, как обсуждено в [9], на которую влияют главным образом лед и засуха;
- наличие внешнего электроснабжения, как обсуждено в [11], которое подвержено влиянию главным образом ветра, снега, мороза и молний;
- функциональные возможности связанного с безопасностью оборудования, и особенно оборудования КИПиУ, как обсуждено в [12], которое подвержено влиянию главным образом температуры, влажности и молний.

12.3. Экстремально низкие температуры являются коренной причиной многих нарушений работы оборудования атомных электростанций и особенно воздействуют на системы КИПиУ, во многих случаях приводя к появлению ложных сигналов. Низкие температуры иногда вызывают конденсацию влаги в закрытых помещениях с последующим попаданием воды в электрооборудование, что приводит к коротким замыканиям и неправильному срабатыванию. Низкие температуры также нарушают нормальную работу систем вентиляции воздуха некоторых атомных электростанций, затрудняют работу дизель-генераторов ввиду выпадения парафина из топлива, приводят к повреждениям системы внешнего энергоснабжения и ограничивают возможности подачи технической воды.

12.4. Повреждения, вызываемые снегопадами, обычно выражаются в отказах электропитания или энергосети, но снег может также воздействовать на воздухозаборники и выпускные устройства вентиляционной системы, приводить к нагрузкам на конструкции, затруднять доступ оператора к внешним связанным с безопасностью установкам и затруднять действия транспортных средств аварийных служб.

12.5. Ущерб, причиняемый молниями, оказывается весьма значительным: они поражают главным образом электрооборудование, но зачастую вызывают также взрывы трансформаторов, серьезные аварии с пожарами и поступление ложных сигналов на клапаны с последующим затоплением и потерей внешнего электроснабжения.

НАГРУЗКИ

12.6. Определение экологических параметров проводится после оценки экстремальных значений представляющих интерес величин, которые определяют также продолжительность таких условий, их периодичность и их разумное сочетание с другими создающими нагрузки параметрами, такими, как ветер или осадки и биологические условия.

МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ

12.7. Строительное проектирование следует выполнять в соответствии с нормами и сводами положений для обычных зданий, в то время как оборудование следует подвергать аттестации согласно его классификации безопасности и классификации по отношению к ВС.

12.8. Следует спроектировать и реализовать специальную защиту от молний с проведением периодической оценки соответствующей системы заземления и регулярных инспекций изоляции открытого оборудования. Как правило, по наружной обшивке стен здания следует создавать с помощью решетки из тонкой арматурной стали клетку Фарадея, охватывающую объем здания. Кроме того, особое внимание следует уделять защите проводников, находящихся на малых расстояниях друг от друга и/или выступающих из защищаемого клеткой объема.

12.9. Водозаборные сооружения систем теплопередачи, непосредственно связанные с КПП, следует проектировать таким образом, чтобы при сезонных колебаниях уровня воды, а также в вероятных условиях засухи обеспечивался надлежащий расход охлаждающей воды.

12.10. Следует надлежащим образом учитывать воздействие экстремальных погодных условий на подачу подпиточной воды, даже если для ее обеспечения не требуется каких-либо источников за пределами площадки. Таким образом, следует учитывать такие факторы, как возможность замораживания напорных трубопроводов, и в надлежащих случаях предусматривать подогрев трасс.

12.11. Следует принимать меры, путем проведения испытаний и/или анализа, с целью подтверждения того, что установки, предусмотренные для отвода тепла к КПП, сохраняют свои функциональные возможности в экстремальных метеорологических условиях, особенно после длительных периодов бездействия. Эти меры могут включать, например, мониторинг

эксплуатационной готовности распылительных головок с целью проверки, что они не замерзли, или того, что не заблокированы льдом сетчатые фильтры на всасывающих патрубках.

12.12. В тех случаях, когда это оправдывается условиями на площадке, следует предусматривать альтернативную(ые) трассу(ы) водяного охлаждения, с тем чтобы воспрепятствовать образованию шуги на водозаборе технической воды. В этом случае следует предусматривать надлежащие контрольно-измерительные приборы и тревожные сигналы, а также соответствующие процедуры и подготовку кадров.

13. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

13.1. Воздействие биологических явлений приводит главным образом к ограничению подачи охлаждающей воды от КПП и системы технической воды вследствие чрезмерного накопления морской водоросли, мидий или моллюсков или засорения чрезмерными количествами рыбы или медуз. Весьма часто также регистрировались нарушения работы вентиляционных систем из-за забивания фильтров листьями или насекомыми. В некоторых случаях регистрировалось повреждение кабелей КИПиУ крысами и бактериями. Бактерии, восстанавливающие сульфаты, могут вызывать коррозионные эффекты и ускоренное старение стальных конструкций, подвергающихся воздействию морской среды.

13.2. В [9] содержатся руководящие материалы по учету таких опасностей при проектировании конкретных связанных с безопасностью систем.

13.3. Такие сценарии обычно сочетаются с затоплением, которое может приводить к внезапному перемещению морских организмов (осаждающихся в различных зонах) с последующей закупоркой водозабора, и с сильными ветрами, которые могут приводить к засорению воздухозаборников листьями или насекомыми в необычных сезонных условиях.

13.4. В последнее время в КПП современных электростанций зарегистрированы некоторые проблемы биологического загрязнения, главным

образом вследствие повышенных температур, которые способствуют быстрому росту опасных и заражающих бактерий.

МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ

13.5. Следует обеспечивать, чтобы исходной точкой для оценки таких опасностей был анализ условий окружающей среды. Следует устанавливать режим инспекций, обеспечивающий надлежащий учет необходимости применения пассивных или активных мер контроля и скорости роста биологической массы.

13.6. Следует разрабатывать специальные предусмотренные в проекте меры по предотвращению засорения воздухозаборников и водозаборов. С целью защиты от отказов узлов подачи чистой охлаждающей воды в связанные с безопасностью теплообменники следует предусматривать сетчатые фильтры на них или резервные линии подачи.

13.7. Следует также быть принимать меры с целью исключения попадания в системы охлаждения веществ растительного происхождения и других организмов. К серьезным закупоркам могут приводить редко происходящие скопления веществ растительного происхождения или морских водорослей, переносимые штормом, стаи рыб, которые могут быстро заблокировать фильтрующие системы, или плавающие обломки биологического или промышленного происхождения. Водозаборное сооружение следует проектировать таким образом, чтобы морские и растительные организмы не могли приближаться настолько близко к водозабору, чтобы быть захваченными всасываемым потоком и оказаться на сетчатых фильтрах всасывающего патрубка. Можно рассмотреть возможность использования альтернативных водозаборов.

13.8. На водозаборных каналах или в насосной станции могут быть предусмотрены неподвижные сетчатые фильтры, предотвращающие проникновение в систему крупной рыбы или масс морских водорослей. При проектировании внешних сетчатых фильтров следует предусматривать их достаточную прочность, с тем чтобы предотвратить попадание в систему охлаждающей воды больших обломков, млекопитающих, рыб и аллигаторов или других рептилий. Кроме того, следует рассмотреть возможность использования на второй ступени фильтрации таких устройств, как фильтры с вращающимся барабаном, обеспечивающие дополнительную очистку

поступающей воды. Может также оказаться необходимой третья ступень фильтрации, на которой применяются тонкие сетчатые фильтры.

13.9. Несмотря на эти меры предосторожности, все же возможно полное закупоривание фильтров. Если постулируемое событие относится к событиям такого типа, что его действие распространяется на значительную поверхность на площадке или береговой линии, то даже наличия альтернативных водозаборов может оказаться недостаточным для того, чтобы предотвратить закупоривание. Для таких событий следует предусматривать неодинаковые КПТ или водозаборы.

13.10. Охлаждающую воду, используемую в конденсаторах и в системах теплопередачи, непосредственно связанных с КПТ, следует подвергать надлежащей обработке, с тем чтобы ингибировать рост организмов в контурах охлаждения. При проектировании следует предусматривать специальные меры по облегчению очистки воздухозаборников и водозаборов.

13.11. Следует предусматривать меры по обеспечению частого биологического мониторинга КПТ с целью оперативного оповещения об изменениях, которые могли бы оказать существенное воздействие на его функционирование. Например, на возможность подачи воды может повлиять появление новых штаммов морской водоросли с отличающимися особенностями роста или большей толерантностью к условиям охлаждающей воды.

13.12. Следует разрабатывать специализированные процедуры эксплуатации и технического обслуживания для обеспечения надлежащего мониторинга этих явлений и предотвращения вызываемых ими аварий. Активные меры контроля могут включать обработку с использованием биоцидов или применение протекторных систем.

14. ВУЛКАНИЗМ

ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

14.1. Вулканизм может оказывать влияние на этапе принятия площадки, но может также являться источником событий, включаемых в основы проекта.

14.2. Проявления вулканической деятельности, способные воздействовать на площадку, могут быть перечислены следующим образом [27]:

- появление баллистических летящих предметов;
- выпадение пирокластических материалов, таких, как пепел или пемза;
- потоки лавы, включая лавины осколков, оползни и обрушения склона;
- лахары, маары и наводнения, вызванные таянием снега;
- воздушные ударные волны и молнии;
- выброс газов (в том числе «пылающие лавины»);
- землетрясения;
- деформации грунта;
- цунами;
- геотермические аномалии и аномалии подземных вод.

Подробное описание таких явлений содержится в [27].

14.3. До настоящего времени ни одна из действующих атомных электростанций еще не пострадала от воздействий сильной вулканической деятельности (зарегистрированы только случаи выпадения пепла и землетрясения), но в некоторых государствах планируется строительство новых станций в зонах повышенной вулканической активности, и в этом случае такие вопросы следует серьезно рассматривать при определении основ проекта.

НАГРУЗКИ И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ

14.4. Большую часть сценариев, связанных с вулканической деятельностью, можно рассматривать таким же образом, как аналогичные сценарии, инициируемые другими коренными причинами. Это относится к летящим предметам, наводнениям, землетрясениям и цунами, опасным газам, оползням и молниям.

14.5. Некоторые другие сценарии более конкретны: например, выпадение пепла является одним из наиболее широко распространенных явлений и может приводить к статической нагрузке на крышу, а также к засорению воздухозаборников и водозаборов в случае определенных сочетаний размеров, плотности и скорости накопления частиц. В случае перемещений больших масс пепла может также оказаться затрудненным доступ оператора к связанным с безопасностью внешним установкам.

14.6. Потоки обломков и наводнения могут угрожать площадке, которую следует защищать, начиная с этапов предварительного выбора площадки, например, путем применения проектного решения ‘сухой площадки’. В любом случае при учете таких явлений в процессе проектирования следует принимать во внимание чрезвычайно малое время, имеющееся для предупреждения после начала явлений, что исключает любую возможность организации защиты на основе одних только эксплуатационных процедур и поэтому вызывает необходимость применения таких специальных проектных мер пассивной защиты, как защитные стены, траншеи и дамбы.

14.7. Такие условия нагрузки для станции не следует комбинировать с другими экстремальными сценариями, а следует исходить из реалистичного сочетания расчетных нагрузок для станции, создаваемых одним и тем же вулканическим источником (газы, наводнения, летящие предметы и землетрясения).

14.8. Ключевым компонентом системы защиты станции является обычно вводимая в эксплуатацию перед этапом выбора площадки система мониторинга, работу и обслуживание которой следует обеспечивать на протяжении всего срока службы станции и которая предусматривает специальные процедуры оповещения и эвакуации. Следует обеспечивать, чтобы она включала некоторые основные элементы для измерения микросейсмов, деформаций грунта, силы тяжести (гравиметрия), геомагнетизма, вулканических газов и уровня и свойств грунтовых вод.

15. СТОЛКНОВЕНИЯ ПЛАВУЧИХ ТЕЛ С ВОДОЗАБОРАМИ И ЭЛЕМЕНТАМИ КПП

ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

15.1. Согласно [2, 3], водозаборы и сооружения КПП³¹ могут быть повреждены в результате столкновений с судами, льдинами или плавающими обломками. Следует учитывать сопутствующие явления в случае столкновения судов,

³¹ К основным компонентам КПП (активных и пассивных) обычно относятся водозаборы, водные бассейны, градирни, системы теплопередачи и насосные станции.

такие, как разливы нефти или выбросы коррозионных жидкостей, которые могут повлиять на наличие или качество охлаждающей воды.

15.2. КПП и водозаборы технической воды подвергаются воздействию одних и тех же ПВС, определенных для связанных с безопасностью зданий на площадке, но учет внешних событий при их проектировании может быть связан с некоторыми особенностями вследствие того факта, что определенные элементы могут находиться вне границы площадки и могут быть разбросаны на большой территории.

15.3. Недавний опыт эксплуатации выявил значительное число случаев повреждения элементов КПП и водозаборов: повреждения водозаборов ледяными глыбами и плавучими обломками, затопления насосных станций и определенных повреждений градирен, зачастую связанных с воздействием обломков при затоплении и низкими температурами (см. также соответствующие разделы).

НАГРУЗКИ

15.4. Столкновение плавучих тел с водозаборами и сооружениями КПП является либо результатом специфичных сценариев (например, столкновение с судном), или связано с более сложными сценариями внешних событий (например, ударами льдин и бревен во время наводнения) как описано в [2–4]. Нагрузки при столкновениях с судами и/или при воздействии обломков льда могут сочетаться с другими нагрузками, в зависимости от исходного сценария (согласно опыту, главным образом сценария затопления).

15.5. Для площадок, на которых в проекте предусматривается забор воды для целей безопасности из судоходных водоемов, следует учитывать влияние аварий судов на способность обеспечения функции безопасности КПП [2]. Основной проблемой является возможность закупоривания водозаборов системы теплопередачи, непосредственно связанной с КПП, которое может происходить в результате затопления или посадки на грунт судов или барж, приводящих к перекрытию заливов водозаборных сооружений, каналов или труб, обеспечивающих поступление воды на вход системы.

МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

15.6. При проектировании с учетом возможности столкновения с судами следует предусматривать сохранение надлежащего уровня функционирования в различных окружающих условиях и для всех соответствующих потенциальных последствий, таких, как разливы нефти или выбросы коррозионных жидкостей.

15.7. При учете воздействия обломков и льда следует проанализировать динамическое воздействие на сооружения, определенное путем анализа события, причем следует гарантировать сохранение целостности, а также исследовать влияние события на обеспечение подачи воды к станции.

15.8. В случае прибрежных площадок, при проектировании надлежащих мер защиты следует обеспечивать соблюдение сводов положений и норм, разработанных для традиционных сооружений для швартовки и защиты судов.

СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ

15.9. Следует обеспечивать, чтобы живучесть важных для безопасности КСЭ, связанных с водозаборами, была основана на соображениях, касающихся разделения с использованием факторов расстояния, неодинаковости или резервирования, или с помощью конкретных проектных мер.

15.10. Если проблемой является возможность прямого столкновения с водозаборным сооружением, следует принимать меры по обеспечению продолжения подачи охлаждающей воды и выполнения функций безопасности КПП. Ниже приведены примеры этих средств защиты:

- столкновения можно предотвращать путем создания таких защитных сооружений, как свайные ограждения - должным образом проектированные системы или цепочки вертикальных цилиндров, закрепленных с определенными промежутками на дне водного пути и расположенных так, чтобы предотвращать столкновение приближающихся судов с защищаемым сооружением. Аналогичные системы могут также быть разработаны для смягчения последствий ударов обломков или накопления льда;
- собственно водозаборные сооружения могут проектироваться с учетом необходимости выдерживать ударное воздействие без прекращения функционирования. При их проектировании следует учитывать

воздействие столкновения на элементы систем теплопередачи, непосредственно связанные с КПП;

- при проектировании следует предусматривать сохранение надлежащего уровня функционирования в различных окружающих условиях и для всех соответствующих потенциальных последствий, таких, как разливы нефти или выбросы коррозионных жидкостей. В случае жидкостей, легко смешивающихся с поступающей водой и способных приводить к повреждению системы теплопередачи или вызывать серьезное ухудшение способности теплопередачи, следует предусматривать надлежащие защитные меры. Защита от разливов нефти может быть обеспечена посредством надлежащего заглубления всасывающих патрубков насосов. Однако в случае малой глубины погружения следует принимать специальные меры, такие, как применение боновых заграждений или скиммеров, удерживающих нефтепродукты на безопасном расстоянии от всасывающих патрубков насосов. Такие меры могут также потребоваться, если существует потенциальная опасность воспламенения нефтепродуктов или других жидкостей.

15.11. Если опасность закупоривания водоприемника насколько высока, что не может быть гарантирован минимальный требуемый для системы теплопередачи поток, то следует предусматривать либо резервные средства доступа к КПП, либо неодинаковые средства, обеспечивающие выполнение проектной задачи для КПП. Следует учитывать сопутствующие явления в случае столкновения судов, такие, как разливы нефтепродуктов или выбросы коррозионных жидкостей, которые могут повлиять на возможность подачи или качество охлаждающей воды.

15.12. В случае значительной опасности воздействия льда следует учитывать статические и динамические нагрузки на водоприемники, создаваемые обломками и льдом. Может также быть предусмотрен альтернативный метод снабжения станции охлаждающей водой³², например, из другого источника или с использованием замкнутой системы с воздушным охлаждением.

³² Например, в некоторых государствах практикуется перекачка (теплой) охлаждающей воды из бассейна для сброса тепла в тех случаях, когда лед забивает сетчатые фильтры всасывающих патрубков.

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- [1] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Безопасность атомных электростанций: проектирование, Серия норм безопасности № NS-R-1, МАГАТЭ, Вена (2003).
- [2] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Внешние события техногенного происхождения в оценке площадки для атомных электростанций, Серия норм безопасности № NS-G-3.1, МАГАТЭ, Вена (2004).
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Flood Hazards for Nuclear Power Plants on Coastal and River Sites, Safety Standards Series No. NS-G-3.5, IAEA, Vienna (2003).
- [4] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Учет метеорологических явлений при оценке площадок для атомных электростанций, Серия норм безопасности № NS-G-3.4, МАГАТЭ, Вена (2005).
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA/NEA Incident Reporting System (IRS) Reporting Guidelines, IAEA, Vienna (1998).
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Protection Against Internal Fires and Explosions in the Design of Nuclear Power Plants, Safety Standards Series No. NS-G-1.7, IAEA, Vienna (2004).
- [7] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Protection against Internal Hazards other than Fires and Explosions in the Design of Nuclear Power Plants, Safety Standards Series No. NS-G-1.11, IAEA, Vienna (2004).
- [8] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Seismic Design and Qualification for Nuclear Power Plants, Safety Standards Series No. NS-G-1.6, IAEA, Vienna (2003).
- [9] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Design of the Reactor Coolant System and Associated Systems in Nuclear Power Plants, Safety Standards Series No. NS-G-1.9, IAEA, Vienna (2004).
- [10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Design of Reactor Containment Systems for Nuclear Power Plants, Safety Standards Series No. NS-G-1.10, IAEA, Vienna (2004).
- [11] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Design of Emergency Power Systems for Nuclear Power Plants, Safety Standards Series No. NS-G-1.8, IAEA, Vienna (2004).
- [12] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Instrumentation and Control Systems Important to Safety in Nuclear Power Plants, Safety Standards Series No. NS-G-1.3, IAEA, Vienna (2002).
- [13] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Periodic Safety Review of Nuclear Power Plants, Safety Standards Series No. NS-G-2.10, IAEA, Vienna (2003).
- [14] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Site Evaluation for Nuclear Installations, Safety Standards Series No. NS-R-3, IAEA, Vienna (2003).
- [15] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Treatment of External Hazards in Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants, Safety Series No. 50-P-7, IAEA, Vienna (1995).

- [16] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Оценка безопасности и независимая проверка для атомных электростанций, Серия норм безопасности № NS-G-1.2, МАГАТЭ, Вена (2004).
- [17] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of the Single Failure Criterion, Safety Series No. 50-P-1, IAEA, Vienna (1990).
- [18] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Безопасность атомных электростанций: эксплуатация, Серия норм безопасности № NS-R-2, МАГАТЭ, Вена (2003).
- [19] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Пределы и условия для эксплуатации и эксплуатационные процедуры для атомных электростанций, Серия норм безопасности № NS-G-2.2, МАГАТЭ, Вена (2004).
- [20] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, Special Provisions for Impulsive and Impact Loads, Appendix C, Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures, Rep. ACI 349-85, ACI, Detroit (1985).
- [21] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Обеспечение качества для безопасности атомных электростанций и других ядерных установок, Серия изданий по безопасности, № 50-C/SG-Q, МАГАТЭ, Вена (1998).
- [22] ELECTRICITE DE FRANCE, Règles de conception et de construction du genie civil des centrales nucléaires, Rep. RCC.G 85-Rev. 2, EdF, Paris (1988).
- [23] AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS, Guidelines for Evaluating Process Plant Buildings for External Explosions and Fires, AICE, New York (1996).
- [24] AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS, Guidelines For Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires and BLEVEs, AICE, New York (1994).
- [25] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Рассеяние радиоактивных материалов в воздухе и воде и учет распределения населения при оценке площадки для атомных электростанций, Серия норм безопасности № NS-G-3.2, МАГАТЭ, Вена (2004).
- [26] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Геотехнические аспекты оценки площадок и оснований АЭС, Серия норм безопасности № NS-G-3.6, МАГАТЭ, Вена (2005).
- [27] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Volcanoes and Associated Topics in Relation to Nuclear Power Plant Siting, Provisional Safety Standards Series No.1, IAEA, Vienna (1997)

Приложение I

АВИАЦИОННЫЕ КАТАСТРОФЫ

Ниже приведена информация об опыте некоторых государств, позволяющая оценить современную инженерно-техническую практику, поскольку экспериментальные данные труднодоступны, а на результаты численного моделирования зачастую оказывают влияние внутренне присущие трудности, связанные с их валидацией.

ФУНКЦИИ НАГРУЗКА-ВРЕМЯ В СЛУЧАЕ ПАДЕНИЯ РЕАЛЬНОГО ВОЗДУШНОГО СУДНА

I-1. Приведены некоторые примеры функций нагрузка-время, полученных для случая удара, перпендикулярного рассматриваемой поверхности оболочки мишени или пластины. В качестве исходной посылки взята устойчивая и жесткая конструкция. Обычно скорость ударного воздействия принимается равной около 100 м/с, т.к. такая скорость не превышает во время обычного взлета и посадки гражданских самолетов и нет никаких сведений об авариях больших летательных аппаратов при более высоких скоростях в пределах определенного удаления от аэропорта. Однако, если имеется достаточная вероятность ударного воздействия на какой-либо стадии полета, такое воздействие следует принимать в расчет, используя надлежащую величину скорости. В этом отношении в некоторых государствах-членах для условий полета военного самолета используется скорость удара около 215 м/с.

I-2. Были получены некоторые функции нагрузка/время для большого гражданского воздушного судна. Функции нагрузка/время для самолетов «Боинг 720» и «707-320» при типичной скорости взлета и посадки (100 м/с) приведены на рис I-1 и I-2.

I-3. Для применения этих функций нагрузка/время при структурном анализе необходимо знать площадь ударного воздействия. На рис. I-3 приводится зависимость площади ударного воздействия от времени при ударе типичного самолета. Средние значения площадей ударного воздействия, выбранных для расчетов, составляли около 37 м² для плоских поверхностей и около 18 м² для сферических поверхностей.

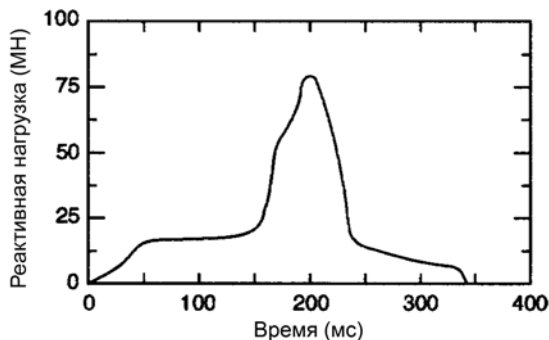


РИС. I-1. Функция нагрузка/время, рассчитанная для самолета "Боинг 720" (по материалам публикации [I-1]).

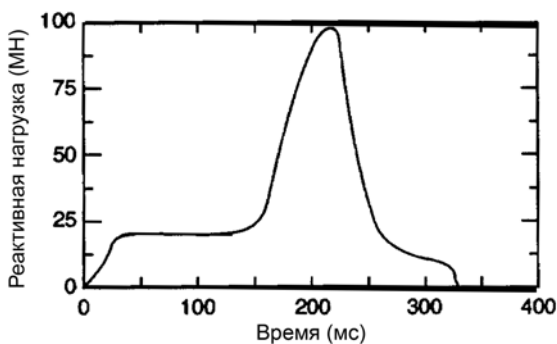


РИС. I-2. Функция нагрузка/время, рассчитанная для самолета "Боинг 707-320" (по материалам публикации [I-1]).

I-4. На рис. I-4 представлена еще одна функция нагрузка/время, которая была изначально выведена для случая аварии военного самолета ("Фантом RF-4E" со скоростью удара 215 м/с). Было определено, что эффективная площадь ударного воздействия для этого события составляет 7 м^2 . Эта функция нагрузка/время действительна для широкого диапазона военных и гражданских самолетов.

I-5. Для оценки ударного воздействия двух гражданских самолетов типа "Сесна 210" и "Лирджет 23" были выведены другие функции нагрузка/время, представленные на рис. I-5 для случая скорости удара 100 м/с. При вычислениях средняя площадь ударного воздействия принималась равной, соответственно,

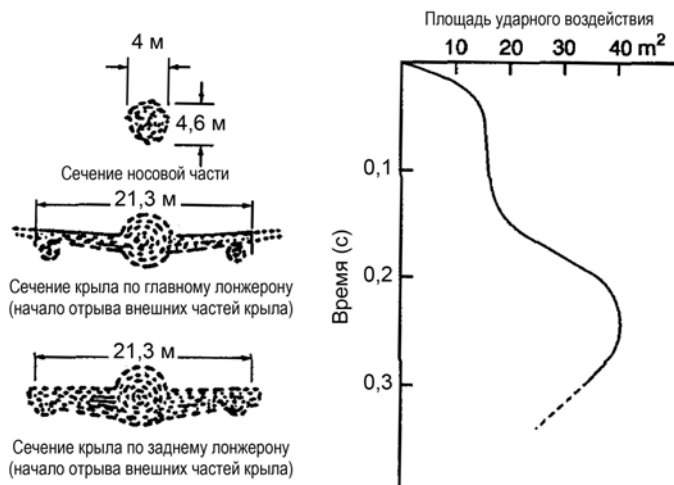


РИС. I-3. Площадь ударного воздействия, рассчитанная как функция времени для самолета "Боинг 707-320". По материалам публикации [I-1].

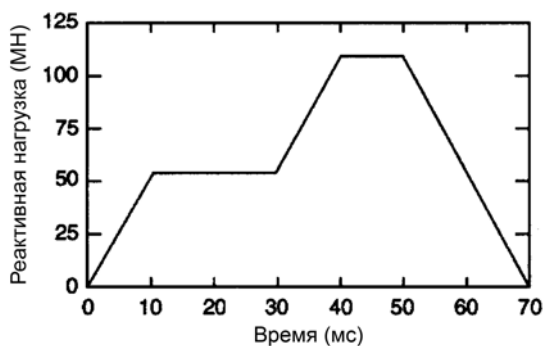


РИС. I-4. Идеализированная функция нагрузка/время для военного самолета "Фантом RF-4E" (по материалам публикации [I-2]).

примерно 4 м^2 и 12 м^2 . Полный набор функций нагружения для различных воздушных судов и условий ударного воздействия представлен в [I-5].

УНИФИЦИРОВАННЫЕ ФУНКЦИИ НАГРУЖЕНИЯ

I-6. Пример унифицированной функции нагружения, не связанной с каким-либо конкретным воздушным судном, приведен на рис. I-6. Она отражает

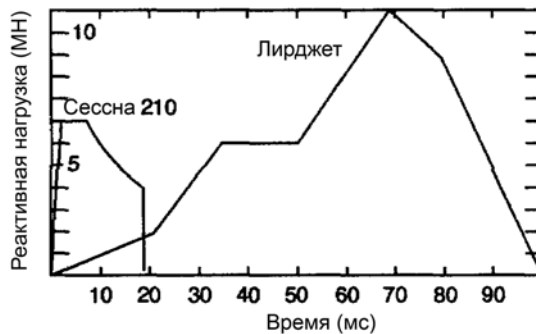


РИС. I-5. Идеализированная функция нагрузка/время, рассчитанная для самолетов "Лирджет 23" и «Сессна 210» (по материалам публикации [I-3]).

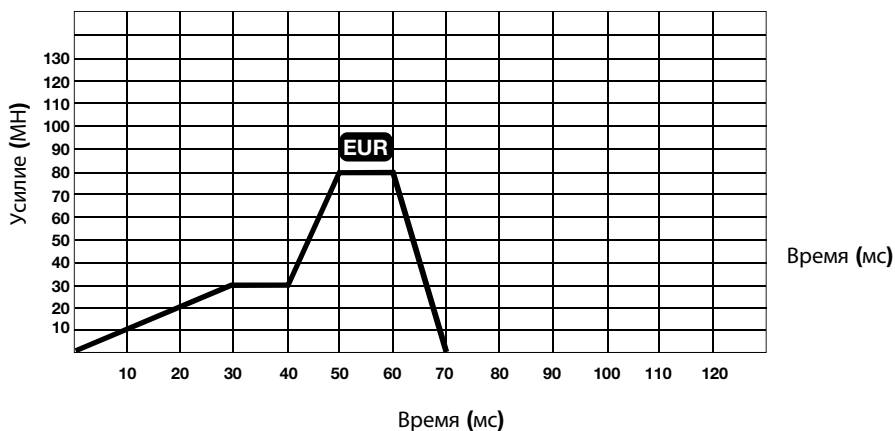


РИС. I-6. Унифицированная функция нагрузка/время для строительного проектирования унифицированных атомных электростанций с корпусными водородными реакторами (по материалам публикации [I-4]).

согласие, достигнутое между многими европейскими энергопредприятиями в отношении унифицированной конструкции атомной электростанции [I-4].

I-7. Другой подход, также не связанный с конкретным воздушным судном, был определен для европейского реактора с водой под давлением [I-6]. Этот подход приводит к компоновке бункерного типа (см. рис. I-7), обеспечивающей защиту реактора в широком диапазоне сценариев, связанных с потенциальной аварией военного или большого гражданского воздушного судна.

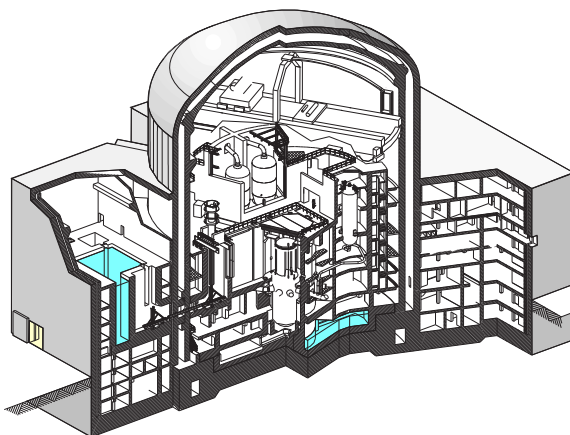


РИС. I-7. Европейский реактор с водой под давлением: наружные оболочки для защиты от авиационных катастроф [I-6].

I-8. Наружные стены здания реактора, здания хранилища топлива и двух из четырех защищающих зданий Европейского реактора с водой под давлением спроектированы с учетом защиты от проникновения. С целью уменьшения индуцированных колебаний внутренние конструкции этих зданий не связаны с наружными стенами, и в них не применяется крепление чувствительных или связанных с безопасностью систем к наружным стенам.

I-9. Проектирование базируется на диаграммах нагрузка/время C1 и C2 (см. рис. I-8), применяемых для расчета воздействия нагрузки на зону в форме круга площадью 7 м^2 с целью обеспечения защиты оборудования, необходимого для останова реактора и предотвращения расплавления активной зоны без резервирования:

- диаграмма нагрузка/время C1 используется для проектирования внутренних конструкций этих зданий с целью защиты от индуцированных колебаний, исходя из предположения о линейных характеристиках упругости материалов и ударном воздействии в центре каждой внешней защитной стены. Соответствующие спектры реакции на перекрытиях зданий для рассмотрения при проектировании оборудования получают только для основных конструктивных элементов зданий;
- что касается защиты от проникновения, то диаграмма нагрузка/время C1 используется для проектирования наружных оболочек этих зданий с целью их защиты от непосредственно воздействующих ударных нагрузок

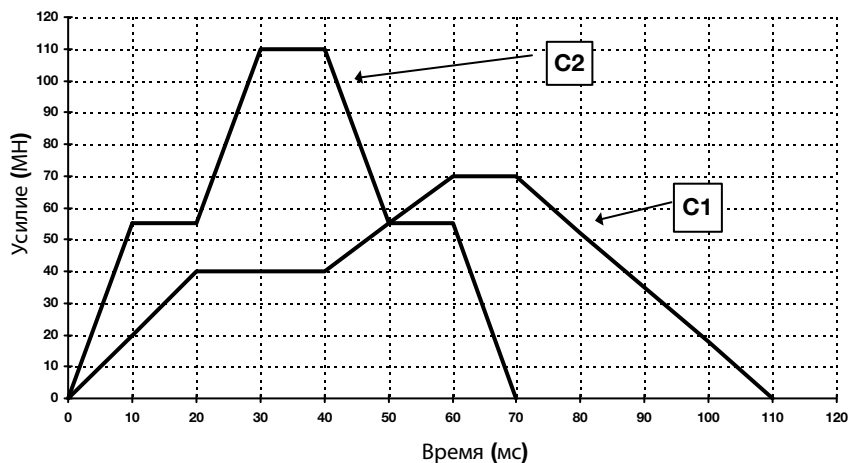


РИС. 1-8. Диаграммы нагрузка/время.

с целью обеспечения того, чтобы не происходило ни проникновения, ни растрескивания, и чтобы были ограничены деформации (арматуры и бетона);

— кроме того, диаграмма нагрузка/время C2 используется для проектирования с целью обеспечения конечного предельного состояния:

- а) здания реактора с целью обеспечить предотвращение проникновения и с тем, чтобы возможное растрескивание не ставило под угрозу останов реактора и предотвращение расплавления активной зоны,
- б) здания хранилища топлива с целью обеспечения того, чтобы не происходило обнажения отработавшего топлива.

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ К ПРИЛОЖЕНИЮ I

- [I-1] RIERA, J.D., On the stress analysis of structures subjected to aircraft impact forces, Nucl. Eng. Des. **8** (1968) 415–426.
- [I-2] DRITTLER, K., GRUNER, P., SUTTERLIN, L., Zur Auslegung kerntechnischer Anlagen gegen Einwirkungen von Aussen. Teilaspekt: Flugzeugabsturz, Rep. IRS-W-7, Institut für Reaktorsicherheit, Cologne (1973).
- [I-3] ELECTRICITE DE FRANCE, Règles de conception et de construction du génie civil des centrales nucléaires, Rep. RCC. G 85-Rev. 2, Electricité de France, Paris (1988).
- [I-4] European Utility Requirements for Nuclear Power Plants with Light Water Reactors (1999).
- [I-5] UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY, Structures, Systems and Components Evaluation. Technical Support Document for DOE Standard on Accident Analysis for Aircraft Crash into Hazardous Facilities, Rep. UCRL-ID-123577, USDOE, Washington, DC (1996).
- [I-6] MALLET, O., KLAUS, R., “The European Pressurized Water Reactor EPR”, ICONE 8 (Proc. Conf. 2–6 April 1994 Baltimore), Paper No. 8552, RSK/GPR, Recommendation on the Design of Future Nuclear Power Plants (1994).

Приложение II

ДЕТОНАЦИЯ И ДЕФЛАГРАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ

II-1. В настоящем приложении приводятся сведения об опыте некоторых государств в качестве справочных материалов по дисциплине, в которой в рамках последовательного подхода к проектированию станции необходимо учитывать химические, физические и инженерно-технические аспекты, сведения о которой нелегко найти в литературе и которая обычно не ориентирована на проектирование атомных станций.

II-2. Взрыв, в том виде, как он определен здесь, включает детонацию и дефлаграцию. Различие между детонацией и дефлаграцией заключается, прежде всего, в скорости сгорания рассматриваемого взрывчатого материала. Вообще говоря, скорости сгорания твердых детонирующих материалов превышают 4000 м/с. Характеристики нескольких типов детонирующих твердых взрывчатых веществ приводятся в таблице II-1.

II-3. Дефлагрирующие материалы обычно находятся в газообразном или парообразном состоянии. Способность к детонации или дефлаграции зависит, прежде всего, от концентрации в воздухе газа или паров. Вообще говоря, для того, чтобы произошла дефлаграция, в воздухе должен накопиться пороговый объем взрывчатых газов или паров. Данные, приведенные в Приложении II, применимы прежде всего для целей консервативной оценки первого порядка, проводимой с целью предварительного отбора. В случаях, когда нагрузки этих типов играют в проектировании большую роль, рекомендуется использовать более строгие методики проектирования [II-1-II-4].

ДЕТОНАЦИЯ

Твердый материал

II-4. На рис. II-1 показана связь между пиковым или боковым давлением падающей взрывной волны и динамическим ветром при детонации взрывчатых веществ, эквивалентных тротилу. Предельная проектная ветровая нагрузка (кроме регионов, где возможны торнадо) обычно менее, чем приблизительно 3 кПа, что сравнимо со значением пикового давления взрывной волны 30 кПа,

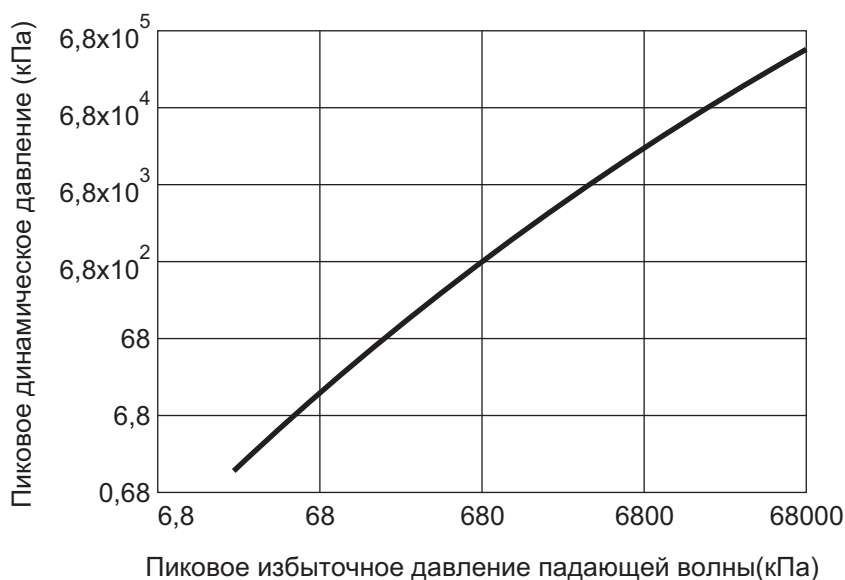


РИС. II-1. Зависимость пикового избыточного давления падающей волны от пикового динамического давления (кПа).

принятым в некоторых государствах. Для сооружений глубиной менее 50 м (расположенных параллельно направлению распространения прямой взрывной волны) нагрузки, создаваемые динамическим ветром, обычно не принимаются во внимание. Для боковых или падающих взрывных волн с пиковыми давлениями, превышающими 30 кПа, или для сооружений глубиной более 50 м следует проводить оценку воздействий динамического ветра и временных соотношений при прохождении взрывной волны.

II-5. При столкновении взрывной волны с препятствием возникает отраженная волна малой длительности, уровень давления которой обычно в два - четыре раза превышает уровень пикового бокового давления падающей волны и которая воздействует на препятствия, перпендикулярные направлению распространения взрывной волны в свободном поле или направлению распространения боковой взрывной волны. При пересечении фронтом давления взрывной волны конструкции здания, помимо давления, оказываемого отраженной волной в направлении движения основной волны, она также оказывает положительное давление на все стены и на крышу сооружения, через которое она проходит. Динамические ветры, следующие за взрывной волной,

ТАБЛИЦА II-1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕТОНИРУЮЩИХ ТВЕРДЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Название	Относительная эффективность при внешнем воздействии	Скорость детонации (м\с)
ТНТ	1,00	7000
Нитрат аммония ^а	0,42	4500
Динамит (коммерческий)		
40%	0,65	4500
50%	0,79	5500
60%	0,83	5800

^а Нитрат аммония, с добавлением некоторых широко доступных материалов, может обеспечивать относительную эффективность в качестве внешнего взрывчатого вещества, равную 1,07 эффективности ТНТ.

оказывают положительное (направленное внутрь) давление на наветренную стену и отрицательное давление на подветренную стену и крышу.

II-6. Проектные параметры для взрывов некоторых твердых эквивалентных ТНТ детонирующих взрывчатых веществ приведены в таблице II-1. Упрощенные варианты диаграмм, используемых для расчетов соответствующих проектных значений, представлены на рис. II-2-II-4 [II-3, II-5].

Детонация газа и облака пара

II-7. Хотя взрывы облака пара изучены достаточно хорошо, внимание при этом уделялось в основном феноменологии; имеется лишь немного экспериментальных данных о зависимостях давление-время. Некоторые эмпирические модели основаны на измерениях, полученных на устройствах, использующих в качестве детонирующего материала либо этиленоксид, либо окись пропилена. Перед детонацией материал рассеивают в форме «блинообразного» аэрозольного облака. Отношение L/D (высота/диаметр) для облаков обычно равно от 0,15 до 0,20. Эти модели базируются на данных, полученных при воспламенении большого числа устройств, вес газа или пара в

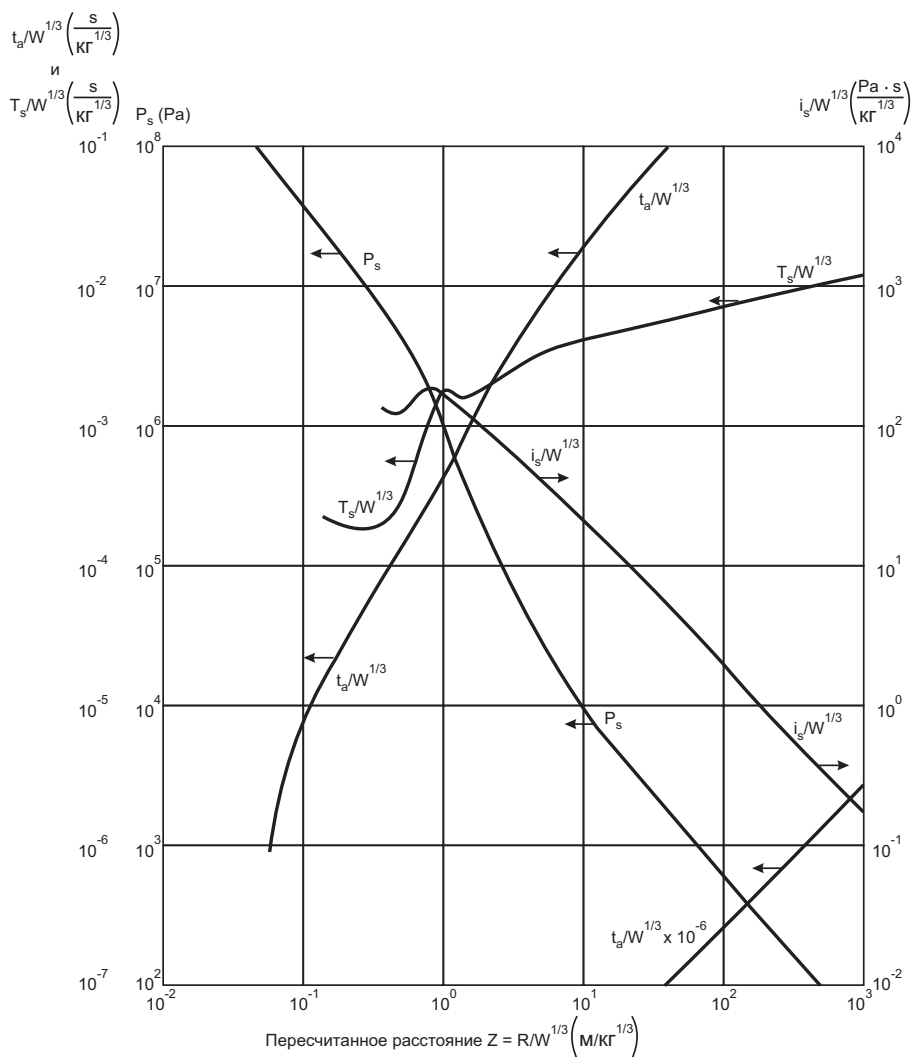


РИС. II-2. Параметры бокового давления при взрыве тротила. W : масса заряда (кг); R : расстояние (м); P_s : пиковое положительное давление падающей волны (Па); T_s : продолжительность фазы положительного давления падающей волны (с); t_a : время прибытия взрывной волны (с); i_s : импульс падающей волны (паскаль секунды/кг^{1/3}); Z : диапазон/масса в степени 1/3 (м/кг^{1/3}).

которых составлял от 1,5 до 720 кг. Полученные проектные параметры представлены в [II-3, II-4].

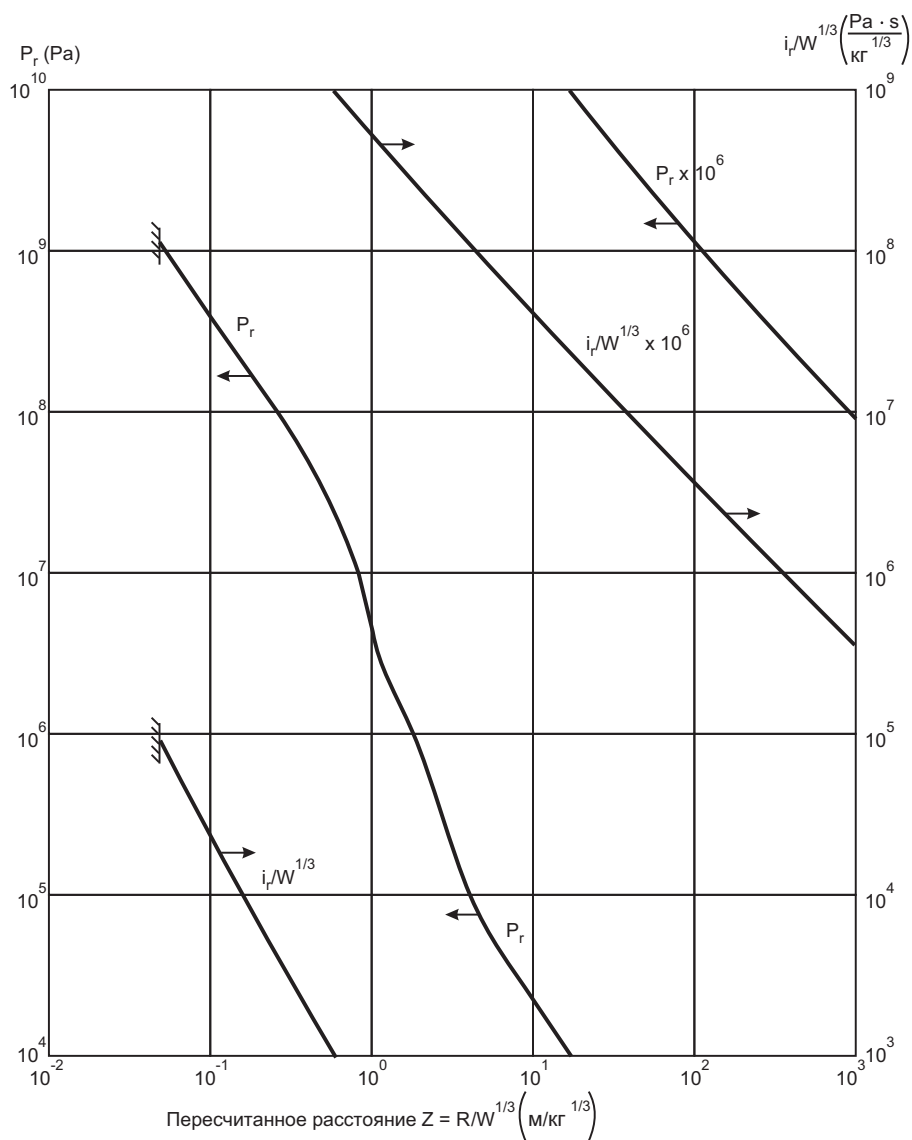


РИС. II-3. Параметры перпендикулярно отраженной волны при взрыве тротила.
 P_r : пиковое отраженное давление (Па); i_r : отраженный импульс (паскаль сек/кг^{1/3});
 W : масса заряда (кг).

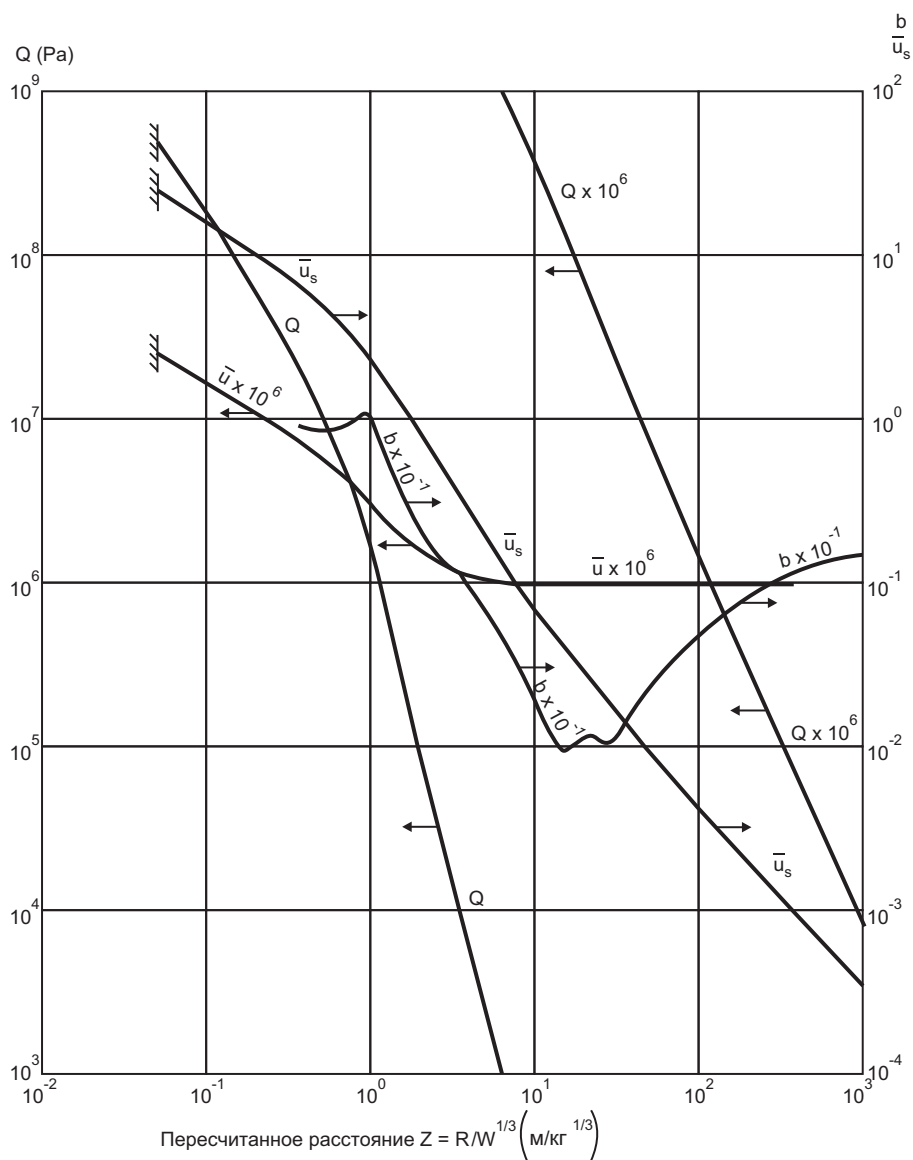


РИС. П-4. Дополнительные параметры бокового давления при взрыве тротила.
 U : скорость фронта ударной волны (м\с); u_s : скорость частиц сзади ударной волны (м\с); Q : динамическое давление ветра (Па); b : постоянная распада.

ДЕФЛАГРАЦИЯ

П-8. При условии, что можно гарантировать режим дефлаграции, в большинстве случаев можно уменьшить вес дефлагрирующего материала до одной десятой его фактического веса, как предлагается в [П-3], для цели определения давления взрывной волны дефлаграции.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИЛИ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ КСЭ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ВЗРЫВНОЙ ВОЛНЫ

Общие положения

П-9. Полученные упрощенные графики зависимости ударной нагрузки от времени при детонации тротилового эквивалента на поверхности земли представлены на рис. П-2-П-4

Частота или период

П-10. Обычно локальные элементы имеют относительно высокие основные частоты или короткие периоды реакции, как правило, в диапазоне соответственно 5-20 Гц или 200-500 мс. Частоты, определяющие реакцию отдельных основных передающих нагрузку элементов, таких, как отдельные балки или колонны, образующие несущие конструкции, обычно лежат в диапазоне 2,5-15 Гц. Типичные частоты реакции крупных систем несущих или первичных передающих нагрузку элементов, таких, как рамы или крепежные устройства, обычно лежат в диапазоне 0,5-10 Гц.

Пластичность

П-11. Пластичность – это мера способности элемента деформироваться без разрыва. Например, весьма часто после воздействия детонационной взрывной волны каркасная конструкция сохраняется, несмотря на сильное повреждение или даже разрушение ненесущих стен.

П-12 На рис. П-5 показана зависимость статического давления, требующего такой же нагрузочной способности, которая необходима в случае воздействия динамической силовой функции треугольной формы на пластичную систему с одной степенью свободы (коэффициент динамической нагрузки), от параметра, представляющего собой произведение пластичности системы и продолжительности действия нагрузки, деленное на период реакции. К

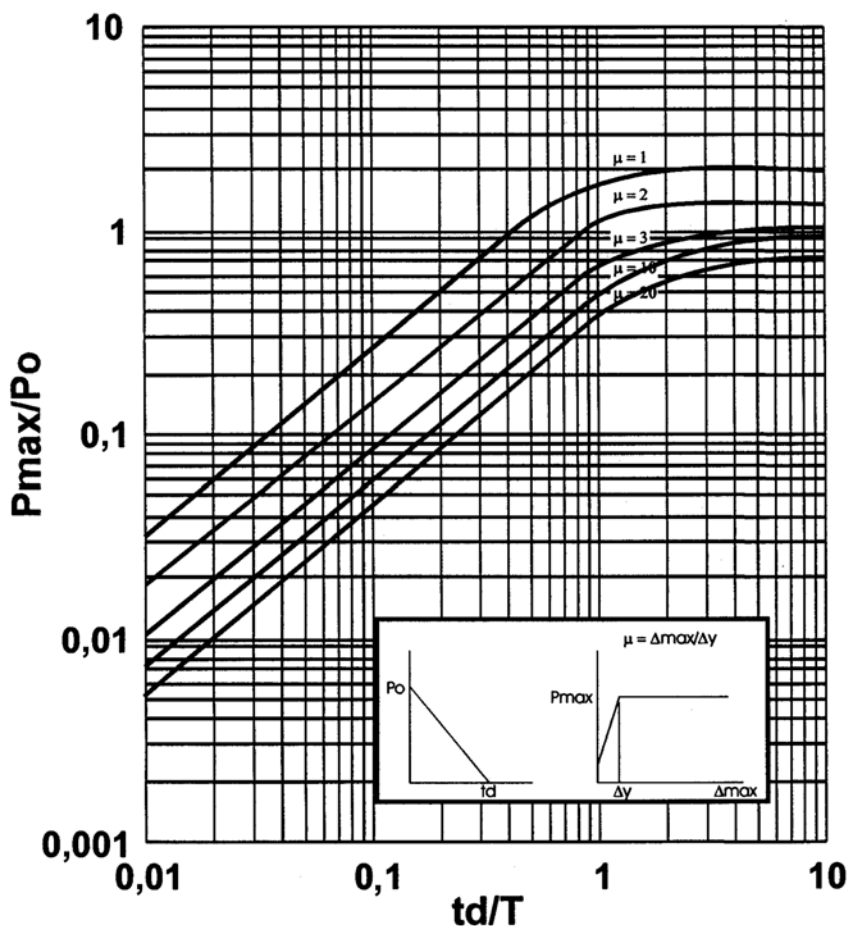


РИС. II-5. Преобразование линейно спадающего динамического давления в эквивалентную статическую нагрузку. P_0 : пиковый уровень динамического треугольного импульса (Па); P_{max} : статическое давление (Па); t_d : продолжительность треугольного импульса (мс); T : период первоначального возбуждения конструкции с одной степенью свободы (мс); Δ_{max} : максимальное смещение при разрушении (м); Δ_y : максимальное упругое смещение (м); μ : максимальная пластичность.

параметрам, обычно необходимым для определения реакции конкретной конструкции, относятся продолжительность нагрузки и период собственных колебаний при реакции конструкции, а также демпфирование и максимальный уровень пластичности конструкции при реакции. Однако поскольку основной

интерес представляет начальный пиковый импульс нагрузки, демпфирование обычно не играет большой роли, в отличие от реакции на циклические нагрузки типа нагрузок, создаваемых землетрясениями, при воздействии которых влияние демпфирования значительно. Поэтому с помощью данных на рис. II-5, используя параметры взрывной волны и динамического ветра для падающей и отраженной волн, оцененные на рис. II-2 – II-4, можно определить давление эквивалентной статической нагрузки, создаваемое силовой функцией при взрыве. Кривые на рис. II-5 можно использовать с P_r и t_r (определенным как $2i_r/P_r$) для определения давлений на отражающую поверхность (перпендикулярную или расположенную под углом к направлению распространения взрыва), и с P_s и t_s (определенным как $2i_s/P_s$) для определения давлений на ‘боковую’ поверхность (параллельную направлению распространения взрывной волны).

II-13. Уровень отраженного давления в определенной степени зависит от угла между направлением распространения взрывной волны и отражающей поверхностью. Для взрывов химических веществ, приводящих к обсуждаемым здесь уровням избыточных давлений, в ситуациях, когда этот угол равен или более 45° , отраженное давление обычно такое же, как в случае нормальной (90°) отражающей поверхности. При уменьшении угла падения и приближении к режиму бокового воздействия (0°) можно предполагать, что отраженное давление будет линейно приближаться к уровню бокового давления для углов менее 45° (рис. II-6).

II-14. Как показано на рис. II-5, эффективная нагрузка при воздействии взрыва на конструкцию, представленная коэффициентом динамической нагрузки, сильно зависит от уровня пластичности μ (мм) данной конструкции. Приведенные на этом рисунке кривые применимы при условии, что собственные частоты конструкции далеки от диапазона основного набора частот функции нагружения, и поэтому не происходит возбуждения значительной динамической реакции. Например, для того, чтобы конструкция с уровнем пластичности приблизительно 5 была способна выдержать такой же взрыв, что и не обладающая пластичностью конструкция с теми же самыми частотными характеристиками, достаточно, чтобы ее типичная прочность составляла всего лишь около 33% прочности непластичной конструкции.

Конструкционное демпфирование

II-15. Конструкционное демпфирование обычно лежит в диапазоне между 5 и 10% от критического уровня.

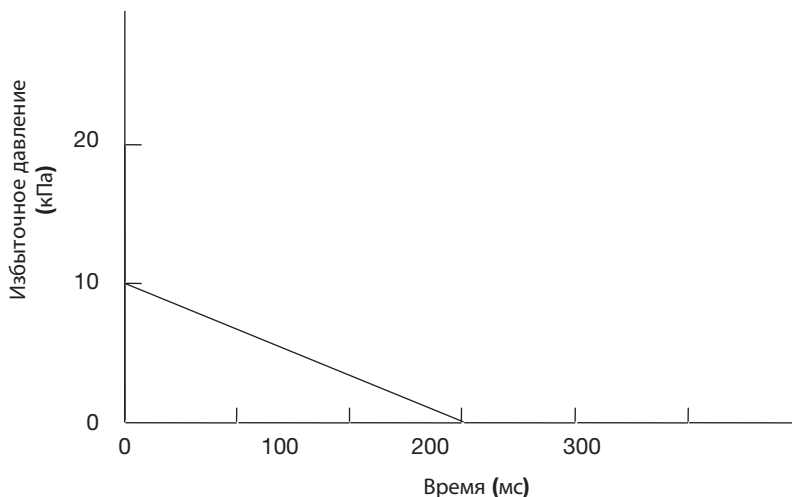


РИС. II-6. Стандартная функция нагрузка/время для волны давления при взрыве (по материалам публикации [II-5]).

Общая нагрузка на конструкцию

II-16. Общая нагрузка на конструкцию также является функцией размера конструкции. Следует тщательно анализировать влияние поперечного распределения нагрузок, воздействующих на препятствие (переднюю стену сооружения, обращенную к источнику взрыва). Для сооружений глубиной менее чем приблизительно 50 м параллельно направлению распространения взрывной волны, нагрузка, создаваемая взрывом, в значительной мере пройдет через сооружение прежде, чем оно сможет отреагировать на взрывную волну, поскольку скорость распространения взрывной волны всегда равна скорости звука или выше ее. Для сооружений глубиной 50 м пиковый фронт взрывной волны начнет взаимодействовать с сооружением только приблизительно через 0,02 с, и это время обычно значительно меньше глобального основного периода собственных колебаний сооружения, но не обязательно меньше периода реакции локальных элементов.

II-17. Для сооружений глубиной от 50 до 75 м представляется разумным (и консервативным) исходить из предположения о том, что воздействующие на сооружение, включая подветренные, боковые стены и крышу, эквивалентные статические нагрузки, создаваемые взрывной волной, возникают одновременно. Для сооружений глубиной более приблизительно 75 м время

следует учитывать временное фазирование взрывной волны при ее прохождении через сооружение, хотя с точки зрения обеспечения консерватизма этого лучше не делать, поскольку консерватизм возрастает по мере увеличения глубины сооружения.

Типичные данные о нагрузочной способности локальных и глобальных элементов конструкции при воздействии эквивалентной статической нагрузки

II-18. В таблице II-2 приведены типичные данные о способности элементов конструкции выдерживать воздействие эквивалентной статической нагрузки, рассчитанной для вероятности скорости ветра 30–35 м/с, равной 10^{-2} в год (период выборки 3 с).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УНИФИЦИРОВАННОЙ КРИВОЙ ДАВЛЕНИЯ

II-19. В некоторых государствах кривая давление-нагрузка приводится без ссылки на источник данных. Ее следует применять для всех подвергающихся воздействию сооружений. На предварительной стадии проекта эту кривую можно рассматривать как определяющую стандартную минимальную нагрузку. Однако после того, как выбрана площадка, следует проводить верификацию того, что уровень волны сжатия, создаваемой расположенными вблизи от площадки взрывоопасными источниками, не превышает уровня стандартной волны сжатия или что вероятность превышения этого значения соответствует уровню остаточного риска (10^{-7} на реактор в год).

II-20. При проведении этой оценки следует учитывать различные параметры, такие, как:

- массу взрывчатых веществ, которые могут быть высвобождены или участвовать по взрыве;
- характер веществ и их физическую форму (газ или жидкость);
- эффект затухания в зависимости от расстояния от места воспламенения;
- статистическое распределение ветра, которое может заставить облако взрывчатого вещества дрейфовать перед воспламенением.

II-21. При оценке следует учитывать стационарные установки, а также транспортные пути — дороги, железные дороги и маршруты перевозки судами.

ТАБЛИЦА II-2. ВИДЫ ОТКАЗОВ КОНСТРУКЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И КОМПОНЕНТОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ДАВЛЕНИЯ, СОЗДАВАЕМОГО ЭКВИВАЛЕНТНОЙ СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ

Конструкционный элемент или компонент	Давление отказа: эквивалентная статическая нагрузка (кПа)		Период динамической характеристики	Пластичность		Вид отказа
	HCLPF ^a	Среднее значение	м/с	HCLPF ^a	Среднее значение	
а) Обычное оконное стекло	1,4	3,4	40	1,0	1,0	Разрушение
б) Двери	2,8	5,1	50	1,0	2,0	Смещение
с) Внутренние перегородки из стоек и плит сухой штукатурки						
1. незаанкеренные	3,4	6,8	100	1,0	2,0	Смещение и опрокидывание
2. заанкеренные	6,8	13,6	67	1,5	3,0	
д) Монолитные или блочные бетонные стены толщиной 20-30 см						
1. незаанкеренные	6,8	13,6	100	1,0	2,0	Смещение и опрокидывание
2. заанкеренные	10,2	20,4	67	2,0	4,0	
3. армированные	13,67	27,2	67	3,0	5,0	Разрушение
е) Кирпичная стена						
1. незаанкеренная	5,1	10,2	125	1,0	2,0	Смещение и опрокидывание
2. заанкеренная	6,8	13,6	80	2,0	4,0	
3. укрепленная	10,2	20,4	80	3,0	5,0	Разрушение
ф) Облицовка сайдингом или рифлеными асбестовыми, стальными или алюминиевыми панелями	3,4	6,8	100	3,0	5,0	Разрушение

ТАБЛИЦА II-2. ВИДЫ ОТКАЗОВ КОНСТРУКЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И КОМПОНЕНТОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ДАВЛЕНИЯ, СОЗДАВАЕМОГО ЭКВИВАЛЕНТНОЙ СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ (продолж.)

Конструкционный элемент или компонент	Давление отказа: эквивалентная статическая нагрузка (кПа)		Период динамической характери- стики	Пластичность		Вид отказа
	HCLPF ^a	Среднее значение	м/с	HCLPF ^a	Среднее значение	
g) Обычные железобетонные стены и панели жесткости	20,4	34	100	5,0	10,0	Крупные трещины; более не способны ести или передавать нагрузки
h) Балки и колонны из обычного железобетона и конструкционной стали						
1. Не стойкие к скручиванию соединения	13,6	27,2	200	3,0 ^b	5,0 ^b	Крупные трещины; более не способны нести или передавать нагрузки
2. Стойкие к скручиванию соединения	20,4	34	200	5,0 ^b	10,0 ^b	Крупные трещины; более не способны нести или передавать нагрузки
i) Мебель						
1. незакрепленная	2	3,4	200	2,0	4,0	Сдвигается или опрокидывается, если отношение высоты к ширине более, чем при- близительно 2,0
2. закрепленная	-----					

ТАБЛИЦА II-2. ВИДЫ ОТКАЗОВ КОНСТРУКЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И КОМПОНЕНТОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ДАВЛЕНИЯ, СОЗДАВАЕМОГО ЭКВИВАЛЕНТНОЙ СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ (продолж.)

Конструкционный элемент или компонент	Давление отказа:		Период	Пластичность		Вид отказа
	эквивалентная статическая нагрузка (кПа)	динамической характеристики	м/с	HCLPF ^a	Среднее значение	
j) Шкафы, содержащие механическое или электрооборудование, распределительные устройства, пульта управления электродвигателями						
1. незаанкеренные	3,4	6,8	200	2,0	4,0	Скольжение или опрокидывание после отрыва анкерных креплений
2. заанкеренные	13,6	27,2	200	2,0	4,0	
к) Прочные механические элементы: насосы, клапаны, емкости, теплообменники						
1. заанкеренные	68	170	40	3,0	5,0	
l) Механическая и электрическая распределительная система						
1. трубопроводы	20,4	40,8	200-1000	6,0	12,0	
2. кабелепроводы	13,6	34	50-1000	3,0	6,0	
3. кабельные желоба	10,2	20,4	330-1000	3,0	5,0	
4. каналы	6,8	13,6	330-2000	2,0	4,0	

^a HCLPF означает высокий доверительный уровень при низкой вероятности отказа или пороговую вероятность отказа, 1%-я вероятность отказа с 50%-м доверительным уровнем.

^b пластичность колонны из конструкционной стали ограничена значением 2,0.

Примечание: Отказ значимых количеств элементов или компонентов может происходить при уровне давления, приблизительно в 2,0 раза превышающем эквивалентное статическое пороговое давление.

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ К ПРИЛОЖЕНИЮ II

- [II-1] PUTTOCK, J.S., Fuel Gas Explosion Guidelines — The Congestion Assessment Method, I CHEME Symposium Series No. 139 (1995).
- [II-2] HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, Explosion Task Committee, Gas Explosion Handbook: Offshore Technology Rep. 0Tn95-196HSE, HSE, London (1995).
- [II-3] BAKER, W.E., et al., Explosive Hazards and Evaluation, Fundamental Studies in Engineering 5, Elsevier, Amsterdam (1983).
- [II-4] AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS, Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires and BLEVEs, AICE, New York (1994).
- [II-5] UNITED STATES ARMY, Accidental Explosion Task Committee, Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions, Dept of the Army Technical Manual No. 5-1300, US Army, Washington DC (1992).
- [II-6] MALLETT, O., KLAUS, R., “The European Pressurized Water Reactor EPR”, ICONEX, (Proc. Conf. Baltimore, 1994), Paper No. 8552, RSK/GPR, Recommendation on the Design of Future Nuclear Power Plants (1994).

Приложение III

ПРЕДЕЛЫ ТОКСИЧНОСТИ

III-1. Дисперсия токсичных газов в значительной степени определяется параметрами конкретной площадки, а токсичность зависит от химического состава. Однако для предварительной оценки могут использоваться значения, приведенные в таблице III-1 [III-1]. Эти значения базируются на допущении гипотезы Паскаля (т.е. отсутствии плавучести или эффектов тяжелых газов), с коротким временем поступления воздуха в помещение щита управления, и на следующих допущениях, которые также определяют некоторые условия их применимости:

- предел токсичности газа составляет 50 мг/м^3 (он может использоваться для хлора, предел токсичности которого, 45 мг/м^3 , весьма близок к этой цифре);
- скорость воздухообмена в помещении щита управления составляет 1,2 объема/ч (это типичное значение, и оно может быть принято, когда отсутствует фактическое расчетное значение);
- модифицированная устойчивость по Паскалю - категория F со скоростью ветра 1 м/с .

Эти значения выбраны в качестве исходных для проведения предварительной оценки риска, связанного с ухудшением действий оператора в случае выброса токсичных газов. При более точной оценке следует учитывать конкретный характер химического агента и рассматривать более точные гипотезы для моделирования их дисперсии на площадке.

III-2. Если предел токсичности и скорости воздухообмена в помещении щита управления значительно отличаются от значений, принятых в пунктах (1) и (2), то следует внести простые корректировки, как указано ниже:

ТАБЛИЦА III-1. УЧИТЫВАЕМАЯ МАССА ТОКСИЧНОГО ХИМИКАТА КАК ФУНКЦИЯ РАССТОЯНИЯ

Расстояние (км)	0,5	1,0	1,5	4,0	8,0
Масса (т)	>0,04	>0,18	>0,40	>6,00	>30,0

- (1) *Предел токсичности.* Представленные значения массы прямо пропорциональны пределу токсичности. Например, если конкретный химический продукт имеет предел токсичности 25 мг/м^3 , веса, указанные в таблице, следует уменьшить в два раза.
- (2) *Скорость воздухообмена.* Приведенные значения массы обратно пропорциональны скорости воздухообмена.

СПРАВОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ К ПРИЛОЖЕНИЮ III

[III-1] HAVENS, J.A., A Description and Assessment of the SIGMET Liquefied Natural Gas Vapor Dispersion Model, US Coast Guard Rep. CG-M-3-79 (1979).

СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ

Chauvel, D.	компания "Electricité de France", Франция
Contri, P.	Международное агентство по атомной энергии
Danisch, R.	компания «Framatome-ANP», Германия
Donald, J.	Исполнительный орган по вопросам здравоохранения и безопасности, Соединенное Королевство
Inkester, J.	Исполнительный орган по вопросам здравоохранения и безопасности, Соединенное Королевство
Johnson, J.	консультант, Соединенные Штаты Америки
Калинкин, И.	Атомэнергопроект, Российская Федерация
Stevenson, J.	компания «Stevenson & Associates», Соединенные Штаты Америки
Touret, J.P.	компания "Electricité de France", Франция

ОРГАНЫ, УЧАСТВУЮЩИЕ В ОДОБРЕНИИ НОРМ БЕЗОПАСНОСТИ

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

Комиссия по нормам безопасности

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

Комитет по нормам ядерной безопасности

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

Комитет по нормам радиационной безопасности

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

Комитет по нормам безопасности перевозки

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

гражданской авиации: Rooney, К.; Международная федерация ассоциаций линейных пилотов: Tisdall, А.; Международная морская организация: Rahim, I.; Международная организация по стандартизации: Malesys, Р.; Экономическая комиссия Организации Объединенных Наций для Европы: Kervella, О.; Всемирный институт по ядерным перевозкам: Lesage, М.

Комитет по нормам безопасности отходов

*Аргентина: Siraky, G.; Австралия: Williams, G.; *Беларусь: Роздяловская, Л.; Бельгия: Baekelandt, L. (председатель); Бразилия: Xavier, А.; *Болгария: Симеонов, Г.; Канада: Ferch, R.; Китай: Fan, Z.; Куба: Benitez, J.; *Дания: Øhlenschlaeger, М.; *Египет: Al Adham, К.; Al Sorogi, М.; Финляндия: Rukola, Е.; Франция: Averous, J.; Германия: von Dobschütz, Р.; Венгрия: Czoch, I.; Индия: Raj, К.; Ирландия: Pollard, D.; Израиль: Avraham, D.; Италия: Dionisi, М.; Япония: Irie, К.; Корея, Республика: Sa, S.; *Мадагаскар: Andriambolona, R.; Мексика: Maldonado, Н.; Нидерланды: Selling, Н.; *Норвегия: Sorlie, А.; Пакистан: Qureshi, К.; *Перу: Gutierrez, М.; Российская Федерация: Полуэктов, П.П.; Словакия: Konecny, L.; Южная Африка: Pather, Т.; Испания: O'Donnell, Р.; Швеция: Wingefors, S.; Швейцария: Zurkinden, А.; *Таиланд: Wangcharoenroong, В.; Турция: Kahraman, А.; Соединенное Королевство: Wilson, С.; Соединенные Штаты Америки: Greeves, J.; Wallo, А.; МАГАТЭ: Hioki, К. (координатор); Европейская комиссия: Taylor, D.; Webster, S.; Международная комиссия по радиологической защите: Valentin, J.; Международная организация по стандартизации: Hutson, G.; Агентство по ядерной энергии ОЭСР: Riotte, Н.*

МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
ВЕНА
ISBN 978-92-0-403308-3
ISSN 1020-5845