

СЕРИЯ НОРМ МАГАТЭ ПО БЕЗОПАСНОСТИ

Оценка риска
наводнения на
прибрежных
площадках АЭС

РУКОВОДСТВО

№ NS-G-3.5



IAEA

Международное агентство по атомной энергии

ОЦЕНКА РИСКА НАВОДНЕНИЯ
НА ПРИБРЕЖНЫХ
ПЛОЩАДКАХ АЭС

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 МАГАТЭ ПО БЕЗОПАСНОСТИ, № NS-G-3.5

ОЦЕНКА РИСКА НАВОДНЕНИЯ НА ПРИБРЕЖНЫХ ПЛОЩАДКАХ АЭС

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
Май 2008

ОЦЕНКА РИСКА НАВОДНЕНИЯ НА ПРИБРЕЖНЫХ ПЛОЩАДКАХ АЭС
МАГАТЭ, ВЕНА, 2008
STI/PUB/1170
ISBN 978-92-0-404808-7
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
	Общая информация (1.1–1.5).....	1
	Цель (1.6–1.7)	2
	Область применения (1.8–1.15).....	3
	Структура (1.16–1.19).....	4
2.	ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ РИСКА НАВОДНЕНИЯ	5
	Сценарии наводнения (2.1–2.11).....	5
	Ожидаемые основные последствия затопления площадок АЭС (2.12–2.18).....	9
	Методы оценки максимального проектного наводнения (2.19–2.29).....	10
3.	ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	14
	Общая часть (3.1–3.6).....	14
	Площадки, расположенные на морском побережье (3.7–3.17)	16
	Площадки, расположенные на берегах рек (3.18–3.19)	19
	Стабильность морских и речных береговых линий (3.20)	20
	Влияние ледовых условий (3.21)	21
	Прочие потенциальные причины наводнения (3.22)	21
4.	СБОР ДАННЫХ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ПРИГОДНОСТИ ПЛОЩАДКИ	21
	Общая часть (4.1–4.2).....	21
	Данные по площадкам на морском побережье (4.3–4.15)	22
	Данные по площадкам, расположенным на берегах рек (4.16–4.17) .	25
	Метеорологические данные (4.18)	27
	Сейсмические и геологические данные по площадкам на морском побережье (4.19)	27
	Морфологические данные о площадке (4.20–4.26).....	28
5.	НАВОДНЕНИЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ШТОРМОВОГО НАГОНА	31
	Общая часть (5.1–5.4).....	31

Детерминистская оценка максимального вероятного штормового нагона (5.5)	32
Стохастическая оценка максимального вероятного штормового нагона (5.6–5.9)	33
Максимальные вероятные штормы (5.10–5.19).	34
6. ВОЛНЫ	38
Общая часть (6.1–6.2).	38
Поле ветра (6.3–6.5)	39
Образование волн в акватории (6.6–6.11)	40
Трансформация акваториальных волн (6.10–6.11)	41
Прибрежные волны (6.12–6.14).	41
Локальные изменения волн (6.15).	42
Силы воздействия волны (6.16–6.18)	43
7. ЗАТОПЛЕНИЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ СЕЙШЕЙ.	44
8. НАВОДНЕНИЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА ...	45
Общая часть (8.1–8.2).	45
Детерминистский метод (8.3–8.23).	46
Вероятностные методы (8.24)	52
9. НАВОДНЕНИЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВНЕЗАПНОГО ПОСТУПЛЕНИЯ ВОДЫ ИЗ ЕСТЕСТВЕННЫХ ИЛИ ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ	53
Общая часть (9.1–9.7).	53
Разрушение плотины по гидрологическим причинам (9.8–9.19)	54
Разрушение плотины по сейсмическим причинам (9.20–9.27)	57
Разрушение плотин в результате причин, не относящихся к гидрологическим или сейсмическим (9.28–9.29).	59
Отказ плотин (9.30)	60
10. НАВОДНЕНИЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ДРУГИХ ПРИЧИН ЕСТЕСТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ.	60
Общая часть (10.1)	60
Изменения в естественном русле (10.2)	61
Дождевые осадки непосредственно на площадке (10.3–10.4)	61

Смерчи (10.5)	62
11. НАВОДНЕНИЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЦУНАМИ	62
Общая часть (11.1–11.2).....	62
Цунами, вызванные землетрясением (11.3–11.9)	63
Цунами несейсмического происхождения (11.10)	65
Удаленные цунами (11.11–11.13)	65
Локальные цунами (11.14–11.16)	66
Изменения вблизи побережья (11.17–11.19)	67
Численное моделирование (11.20)	68
Осаждение (11.21–11.22)	68
12. СОЧЕТАНИЯ СОБЫТИЙ	69
Общая часть (12.1)	69
Исходные и окружающие условия (12.2–12.3)	69
Сочетание событий (12.4–12.16).....	70
13. АСПЕКТЫ ЗАЩИТЫ ОТ НАВОДНЕНИЯ ПЛОЩАДОК, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА МОРСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ И БЕРЕГАХ РЕК	73
Общая часть (13.1–13.4).....	73
Типы защиты (13.5–13.7).....	74
Анализ защиты (13.8–13.12)	76
Устойчивость береговой линии (13.13–13.21).....	77
Дренаж площадки (13.22–13.23)	79
Транспортное сообщение и связь (13.23–13.24)	80
14. ИЗМЕНЕНИЕ СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ НАВОДНЕНИЯ ВО ВРЕМЕНИ	80
Общая часть (14.1–14.12).....	80
15. МЕРЫ КОНТРОЛЯ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ СТАНЦИИ	84
Общая часть (15.1–15.6).....	84
Площадки, расположенные на морском побережье (15.7–15.11)	85
Площадки, расположенные на берегах рек (15.12–15.15)	86

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	89
ПРИЛОЖЕНИЕ: ПРИМЕРЫ ВОЗМОЖНЫХ СОЧЕТАНИЙ СОБЫТИЙ, ВЫЗЫВАЮЩИХ НАВОДНЕНИЕ.....	91
СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ.....	93
ОРГАНЫ, УЧАСТВУЮЩИЕ В ОДОБРЕНИИ НОРМ БЕЗОПАСНОСТИ	95

1. ВВЕДЕНИЕ

ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ

1.1. В настоящем Руководстве по безопасности представлены рекомендации по выполнению требований, установленных в Требованиях по безопасности «Оценка площадок для ядерных установок» [1] в отношении опасности наводнения, которые следует использовать при оценке площадки размещения АЭС на берегах морей и рек. Также, рассмотрены меры защиты от наводнений и стратегия мониторинга площадок размещения АЭС.

1.2. Настоящее Руководство по безопасности является первой редакцией и заменяет собой два руководства по безопасности, связанные с опасностью наводнений на площадках, расположенных на морском и речном побережье, соответственно, и которые были первоначально опубликованы в рамках программы МАГАТЭ по разработке норм безопасности 1983 г.¹

1.3. В настоящей, пересмотренной редакции два ранее выпущенных руководства по безопасности объединены по следующим причинам:

- 1) проектировщики АЭС применяют одинаковые подходы к защите как площадки, так и станции в случае рисков наводнения на площадках, размещенных на речном и морском побережье;
- 2) метеорологические причины явлений, наблюдаемых на площадках обоих типов, часто те же самые, а сами явления – подобны;
- 3) во многих случаях возможно сочетание воздействия морской среды и речной среды на одной и той же площадке, и поэтому комбинированный подход представляется вполне удобным.

1.4. Новые разделы были разработаны на основе подробного анализа эксплуатации АЭС в мире за последние годы. В этих разделах в основном представлены:

¹ МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Учет наводнений в основах проекта атомных электростанций, сооружаемых на берегах рек, Серия по безопасности № 50-SG-S10A, МАГАТЭ, Вена (1983 год); Учет наводнений в основах проекта атомных электростанций, сооружаемых на морском побережье, Серия по безопасности № 50-SG-S10B, МАГАТЭ, Вена (1983 год).

- требования к достаточности и достоверности исходных данных, ориентированные на применение в государствах, обладающих ограниченной исторической информацией по данному предмету и, следовательно, различными техническими подходами (напр., детерминистский подход в противовес вероятностному);
- требования и методы контроля применительно к системам предупреждения со всеми последствиями с точки зрения надежности и размера контролируемой площадки и, следовательно, уровня контроля;
- механизмы корректировки анализа риска с точки зрения быстрых изменений внутренне присущих свойств, связанных как с атмосферными осадками (интенсивность, территория и частота выпадения), так и с бассейном (гидрографическая сеть, население, водные запасы и искусственные препятствия).

1.5. Другие руководства по безопасности, относящиеся к оценке площадки в рамках рассматриваемых событий, связанных с наводнением – цунами, вызванные землетрясением, воздействие на фундаменты в результате наводнения, процедуры обследования площадки, а также атмосферные осадки и риск возникновения циклонических ветров – дополняют настоящее Руководство по безопасности [2–4].

ЦЕЛЬ

1.6. Цель настоящего Руководства по безопасности – предоставить рекомендации, касающиеся оценки риска наводнения для АЭС, расположенной на берегу моря или реки, которые позволят выявлять опасные явления, связанные с затоплением, вызванным внешними природными и техногенными событиями.

1.7. В настоящем Руководстве по безопасности представлены указания по анализу и количественному выражению последствий наводнения на всех этапах реализации проекта, начиная с этапа выбора площадки (анализ района размещения, этапы отбора и ранжирования) до определения проектной основы и начиная с выработки мер по защите и контролю площадки до периодической оценки площадки (см. [5]).

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

1.8. В настоящем Руководстве по безопасности рассматриваются явления, как природного, так и техногенного происхождения, которые могут вызывать наводнения и засухи на площадках, расположенных на берегах морей и рек, а также представлены методы, которые могут быть использованы для оценки таких событий и соответствующих последствий и критические факторы, которые связаны с ними. Также, рассматриваются сочетания двух и более явлений, которые могут привести к затоплению площадки.

1.9. В настоящем Руководстве по безопасности рассматривается определение риска для площадки и общее формулирование основы проекта в части взаимосвязанных воздействий на АЭС в целом, для применения при проектировании или оценки проекта. Следующий этап определения основы проекта в полном объеме для конкретной АЭС, включающий в себя определение нагрузки, реализуется в контексте проектирования и внутренне зависит от компоновки и конструкции станции. Поэтому этот дополнительный этап рассматривается в Руководстве по безопасности «Безопасность атомных электростанций: проектирование» [5], вместе с подробными схемами нагрузки и процедурами проектирования. В настоящем документе рассматриваются некоторые аспекты проектирования применительно только к мерам по защите площадки, поскольку они традиционно считаются частью процесса оценки площадки.

1.10. В настоящее время рассматривается вопрос о сооружении дополнительных энергоблоков на некоторых площадках АЭС. Повторная оценка действующих площадок является чувствительным аспектом из-за необходимости увязать уже оцененную и принятую ситуацию с результатами новой оценки, проведенной при помощи новых методов и на основе новых данных. Это может указывать на необходимость повышения уровня безопасности площадки в части уже существующих на этой площадке установок. В настоящем Руководстве по безопасности повторная оценка площадки существующей АЭС подробно не рассматривается, однако представлены многие элементы, которые могут оказаться полезными для такой повторной оценки.

1.11. В настоящем Руководстве по безопасности рассматривается применимость различных методов оценки риска наводнения. Разрушение плотин, цунами и прочие редкие события могут вызывать более тяжелое наводнение, чем атмосферные осадки. В целом, исторических данных по этому аспекту немного, поэтому необходимо разрабатывать специальные методы.

Также, рассматриваются статические и динамические последствия наводнений, являющихся результатом различных сочетаний (независимых и взаимозависимых) поверхностных волн различающейся интенсивности. Помимо этого, рассматриваются последствия неустойчивости и эрозии береговой линии.

1.12. Здесь не рассматриваются явления понижения уровня воды на прибрежных площадках, вызванные береговыми ветрами, отливами, волновыми эффектами, понижением уровня воды из-за цунами или засухи (также для площадок на берегах рек) поскольку не предполагается, что данные явления будут представлять сложность только с точки зрения наличия охлаждающей воды, а не сооружений и оборудования. Хотя в части аспектов безопасности и эксплуатации делается ссылка на Руководства по безопасности [6, 7], при оценке риска могут применяться методы и рекомендации, представленные в настоящем Руководстве по безопасности, поскольку эталонные сценарии наводнения и засухи часто похожи по своей природе.

1.13. В настоящем Руководстве по безопасности рассматриваются два типа методов оценки наводнения для площадок, расположенных на берегах морей и рек: вероятностные и детерминистские. Оба подхода рассматриваются без обсуждения деталей, но с точки зрения их применимости, ограничений, достоверности и пригодности для использования при выполнении требований, предъявляемых к оценке площадки.

1.14. В настоящем Руководстве по безопасности не рассматривается потенциальный перенос радиоактивного материала при наводнении и его дисперсия в окружающей среде. Более подробный анализ такой дисперсии представлен в [7].

1.15. В настоящем Руководстве по безопасности не рассматриваются наводнения в результате диверсии на площадке или за ее пределами.

СТРУКТУРА

1.16. Структура документа соответствует логической последовательности анализов, необходимых для определения максимального проектного наводнения², начиная с этапа обследования площадки до определения основы

² Максимальное проектное наводнение – наводнение, выбранное для определения основы проекта АЭС.

проекта и периодической оценки безопасности на основе результатов мониторинга. В частности, в Разделе 3 рассматривается предварительное исследование с целью выбора площадки размещения, а в Разделе 4 – сбор окончательных данных для оценки площадки размещения вплоть до определения параметров (и вероятностей, при необходимости) причины возникновения наводнения (атмосферные осадки, торнадо, землетрясение и разрушение плотин).

1.17. В Разделах 5-12, по результатам моделирования последствий на площадке и представления возможных сочетаний, определяются максимальное вероятное наводнение, максимальный вероятный сейш в результате стока, максимальный вероятный штормовой нагон и максимальная вероятная цунами на площадке.

1.18. В Разделе 13 рассматриваются меры защиты площадки от наводнений и событий, вызванных наводнением. В Разделе 14 приводятся конкретные механизмы периодического анализа опасности наводнения для определения возможных последствий в результате изменения условий площадки и глобального потепления. В Разделе 15 речь идет о мониторинге исходных причин, связанных с наводнениями, и их последствий.

1.19. В Приложении представлены примеры сочетаний нагрузок, взятые из опыта некоторых государств.

2. ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ РИСКА НАВОДНЕНИЯ

СЦЕНАРИИ НАВОДНЕНИЯ

2.1. Наводнение может оказать серьезное воздействие на безопасность АЭС, расположенных на площадках как на берегах рек, так и морей (включая замкнутые и полужамкнутые водоемы) или крупных озер.

2.2. Наводнения могут быть связаны либо с «частыми», либо с «редкими» событиями в соответствии с определениями, представленными в [1, 4]. Процедуры сбора данных и методы анализа риска в большой степени будут зависеть от природы наводнения.

2.3. Максимальное проектное наводнение следует определять, исходя из опасности наводнения для площадки, которое представляет собой вероятностный результат, полученный при анализе всех возможных сценариев затопления на площадке. Тем не менее, в некоторых случаях максимальное проектное наводнение оценивается с помощью детерминистских методов, без учета вероятности. В этих случаях всегда следует проводить вероятностную оценку с тем, чтобы иметь возможность сравнить вклад различных проектных сценариев в общую безопасность станции (см. [6]) и оценить общую вероятность радиологических последствий потенциального отказа на АЭС.

2.4. Максимальное проектное наводнение представляет собой набор параметров, которые в максимальной степени ухудшают безопасность станции вследствие наводнения: эти параметры могут быть связаны, например, с максимальным уровнем воды, максимальным динамическим воздействием на защиту или максимальной скоростью повышения уровня воды.

2.5. В случае *прибрежных площадок* (море, озера и полузамкнутые водные пространства) риск наводнения связан с наиболее тяжелыми из следующих типов наводнения, когда это применимо:

- 1) Наводнение в результате максимального вероятного штормового нагона³ (см. [4] в части рекомендаций по соответствующему метеорологическому риску);
- 2) Наводнение в результате максимальной вероятной цунами⁴ вследствие землетрясения (см. [2] в части рекомендаций по сейсмической

³ Шторм – сильное возмущение атмосферы, сопровождаемое ветром и, как правило, дождем, снегом, градом, мокрым снегом или громом и молнией. Штормовой нагон – накопление воды на небольших глубинах из-за ветрового напряжения и донного трения вместе с понижением атмосферного давления, которое происходит в сочетании с сильными штормами. Максимально вероятный штормовой нагон – гипотетический штормовой нагон, созданный либо максимально вероятным тропическим циклоном, либо внутритропическим циклоном.

⁴ Цунами – серия волн, созданных импульсными возмущениями ввходной поверхности в результате не метеорологических, а геофизических явлений, таких как подводные землетрясения, извержения вулканов, подводных оползаний и оползней грунта или падение ледяных блоков в водное пространство. Максимальная вероятная цунами – это гипотетическая цунами с таким сочетанием характеристик, которое делает ее наиболее тяжелой с точки зрения затопления, и которая обоснованно может ожидаться на площадке.

опасности), а также оползней (включая подводные оползни), подводных вулканов и падающего льда⁵;

- 3) Наводнение в результате максимального вероятного сейша⁶;
- 4) Наводнение в результате ветровых и волновых эффектов, которые следует учитывать по отдельности или в сочетании с упомянутыми выше механизмами наводнения.

2.6. Для каждого из этих случаев следует рассматривать консервативно высокий контрольный уровень⁷ с тем, чтобы учитывать, где это применимо, приливы, аномалии уровня моря⁸, а также изменения уровня воды в озерах и уровня паводка на реках. Подробные рекомендации по данному подходу даны в Разделе 4.

2.7. В случае площадок, расположенных по *берегам рек*, опасность наводнения связана с одним или более следующими сценариями:

- 1) Наводнение в результате атмосферных осадков за пределами площадки⁹ со стоком вод на площадку (см. [4] в отношении опасности атмосферных осадков).
- 2) Наводнение в результате таяния снега [4], сезонных паводков [4] или паводков в результате вулканизма.

⁵ Причиной цунами также могут быть океанические воздействия. Воздействие от падения астероида или кометы в океан может явиться причиной крупных цунами, которые воздействуют на популяции совершенно иначе, нежели на популяции, на которые воздействуют цунами, вызванные геологическими событиями. Такое событие может учитываться в анализе запроектных событий.

⁶ Сейш – колебание замкнутого или полужамкнутого водного пространства в ответ на воздействие атмосферной, океанографической или сейсмической возмущающей силы. Максимальный вероятный сейш – это гипотетический сейш, который ведет к наиболее неблагоприятному наводнению, которое может обоснованно считаться возможным.

⁷ Контрольный уровень воды – это консервативно оцененный контрольный уровень воды, применяемый для оценки наводнения, высокий или низкий (для оценки магнитуды наводнения или минимального уровня воды, соответственно), включая, где это уместно, такие составляющие, как приливы, расход реки и сток с поверхности, но не включая повышения уровня воды в результате нагонов, сейшей, цунами и ветровых волн.

⁸ Аномалия уровня моря – аномальное отклонение высоты уровня моря от прогнозируемой высоты астрономического приливного уровня.

⁹ Наводнение в результате атмосферных осадков на площадке рассматривается в [4].

- 3) Наводнение в результате разрушения искусственных или естественных сооружений для управления водными ресурсами либо по сейсмическим, либо по гидрологическим причинам, или из-за ошибочного функционирования таких сооружений, определяемого как максимальное вероятное разрушение плотины;
- 4) Наводнение в результате затора русла реки (вверх или вниз по течению) из-за оползней, льда, заторов из бревен и мусора, а также лавы или пепла от вулканической деятельности (это также включается в максимальное вероятное разрушение плотины);
- 5) Наводнение в результате поверхностных волн, наведенных вулканами, оползнями или лавинами в водных бассейнах или водяными смерчами;
- 6) Наводнение в результате изменений природного русла;
- 7) Наводнение в результате ветровых волн на крупных реках или в устьях;
- 8) Наводнение в результате повышенного уровня грунтовых вод, который может быть вызван землетрясением (см. также [2, 3]).

2.8. Следует иметь в виду, что несмотря на принятую терминологию для максимального вероятного штормового нагона, максимальной вероятной цунами, максимального вероятного сейша и максимального вероятного разрушения плотины, такие события не всегда могут характеризоваться в чисто вероятностном контексте. Тем не менее, данные термины подчеркивают, что всегда следует проводить оценку вероятности превышения в отношении проектных сценариев, даже если они исследовались с помощью детерминистских подходов.

2.9. В настоящем Руководстве по безопасности даются рекомендации по выбору события с наихудшими последствиями для площадки в результате затопления, которое может отличаться от события с наиболее экстремальными значениями одного параметра наводнения.

2.10. Следует тщательно проанализировать сочетания двух и более зависимых событий с учетом зависимости или независимости этих событий. Например, на площадке, расположенной на берегу реки, исключительно высокие весенние паводковые стоки могут вызвать ледяной затор, ведущий к повышенным уровням воды на площадке и возможному препятствованию забору воды ледяными полями. На морской береговой площадке цунами или штормовой нагон могут иметь место во время исключительно высокого прилива. Особое внимание следует уделять площадкам, расположенным на устьях, для которых сценарии наводнения могут иметь особенности как морских, так и речных береговых площадок.

2.11. Особое внимание следует уделять наводнению, вызванному подъемом уровня грунтовых вод вследствие влияния моря или реки, а также других явлений, таких как землетрясения или вулканизм.

ОЖИДАЕМЫЕ ОСНОВНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЗАТОПЛЕНИЯ ПЛОЩАДОК АЭС

2.12. Последствия затопления площадки АЭС могут оказать большое влияние на безопасность станции и привести к постулируемому иницирующему событию (ПИС), которое должно быть включено в анализ безопасности станции. Присутствие воды на многих участках станции может являться общей причиной отказа систем, имеющих отношение к безопасности, таких как системы аварийного энергоснабжения или электrorаспределительное устройство, с возможностью потери соединения с внешней сетью энергоснабжения, система отвода тепла распада и другие жизненно важные системы. Более подробно этот аспект представлен в [6].

2.13. Значительные повреждения конструкций, систем и элементов, имеющих отношение к безопасности, могут быть вызваны фильтрацией воды во внутренние участки станции в результате высокого уровня наводнения из-за подъема уровня грунтовых вод. Давление воды на стены и основания может угрожать их конструкционной способности. Недостатки дренажных систем на площадке и сооружения, не оборудованные гидроизоляцией, также могут привести к затоплению площадки. В прошлом такие события происходили много раз, и после них отмечались крупные повреждения. Возможность наступления таких событий следует учитывать при оценке риска и разработке мер по защите площадки.

2.14. Динамическое воздействие воды может привести к разрушению сооружений и оснований станции, а также многих систем и элементов, расположенных за пределами станции. В таких случаях также может иметь место значительная эрозия по границе площадки, которую следует проанализировать и учитывать.

2.15. Наводнение способно перемещать ледяные поля при очень холодной погоде или мусор, которые могут физически повредить сооружения, блокировать водозабор или повредить дренажную систему.

2.16. Наводнение также может оказать отрицательное воздействие на коммуникационные и транспортные сети вокруг площадки станции. Такие

последствия могут поставить под угрозу осуществление мер безопасности и противоаварийное планирование эксплуатирующими организациями, поскольку при этом пути эвакуации становятся непроходимыми, а площадка станции оказывается изолированной в случае чрезвычайной ситуации с затрудненной связью и снабжением. Наводнение, при котором дорожная сеть вокруг станции становится непроезжей, также может привести к чрезвычайной ситуации.

2.17. Наводнение также может вносить свой вклад в распространение радиоактивных материалов в окружающей среде в случае аварии [7]. Такое последствие следует учитывать при определении вероятного контрольного уровня для применения при оценке максимального проектного наводнения на основе риска наводнения.

2.18. Другая информация о причинах и последствиях явлений, вызванных наводнением, представлена в других Руководствах по безопасности, касающихся, соответственно, землетрясений [2], ветра и снега [4], грунтовых вод [3], а также дисперсии в воздухе, воде и грунтовых водах [7].

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ МАКСИМАЛЬНОГО ПРОЕКТНОГО НАВОДНЕНИЯ

2.19. При оценке риска наводнения используются различные методы в соответствии с этапами оценки площадки, определенными в Требованиях [1]: выбор площадки, оценка площадки, предэксплуатационный этап и этап эксплуатации (включая периодический анализ безопасности). В настоящем Руководстве по безопасности подробно рассматриваются различные аспекты оценки риска наводнения. Для этой цели следует разработать и реализовать программу обеспечения качества, распространяющуюся на изделия, услуги и технологические процессы, которые влияют на безопасность и находятся в сфере применения настоящего Руководства по безопасности. Такую программу обеспечения качества следует реализовать для обеспечения того, чтобы сбор данных, обработка данных, полевые и лабораторные работы, исследования, оценки и анализы, а также вся необходимая деятельность по выполнению рекомендаций настоящего Руководства по безопасности, проводились надлежащим образом.

Детерминистские методы

2.20. Детерминистские методы¹⁰ основываются на применении моделей для описания системы. Эти модели могут быть эмпирическими или основываться на физических зависимостях. Для данной входной информации или набора исходных и граничных условий, с помощью модели будет получено единственное значение или набор значений для описания состояния системы. Для получения консервативных оценок следует использовать подходящие экстремальные или консервативные значения входных параметров.

2.21. В целом, детерминистские методы могут обеспечить рациональные пределы для статистической экстраполяции посредством концепции «физического предела»: верхний предел уровня паводка независимо от вероятности его наступления. Детерминистские методы могут выполнять важную функцию, также позволяя проводить полезную альтернативную валидацию результатов, полученных с помощью вероятностных методов.

2.22. Детерминистские методы обуславливают необходимость учета конкретных особенностей региона и применения инженерной оценки. В тех случаях, когда детерминистские методы применяются для получения значения шторма, вызывающего максимальный вероятный штормовой нагон, такое значение шторма следует использовать в качестве вводного для моделей нагона и волны в оценке основы проекта.

Вероятностные методы

2.23. Вероятностные методы основываются на анализе и синтезе с помощью временных рядов¹¹. Они сочетают в себе детерминистский и статистический анализ, а также синтезируют временные (пространственные) ряды

¹⁰ Детерминистский метод – это метод, для которого большинство используемых параметров и их значений можно получить математическим путем и объяснить с точки зрения физических зависимостей.

¹¹ В настоящем контексте временные ряды означают хронологическое накопление данных в виде таблиц, в то время как измерение данных осуществляется непрерывно или через установленные промежутки времени (напр., средний ежедневный расход, годовой максимальный паводок и ежедневный уровень воды на 08:00).

стохастических переменных¹² и влияние ограниченного набора данных. Предполагается, что ряды представляют собой как определяемые причины, так и неизвестное количество стохастических причин, и что стохастические причины в достаточной степени независимы. При использовании этих методов могут надлежащим образом учитываться скачки, тренды и выбросы набора данных. Подчеркивается, что данные, используемые при вероятностных оценках, основываются на реальных измерениях или переменных. Как и в случае детерминистских методов, вероятные методы следует применять в сочетании с инженерной оценкой. При необходимости, их следует параллельно проверять с помощью упрощенного детерминистского анализа.

Применение детерминистских и вероятностных методов

2.24. В целом, детерминистские и вероятностные методы следует рассматривать не как конкурирующие, а скорее как дополняющие друг друга. Например, если нагон образуется тропическим циклоном, то оценка, как правило, проводится детерминистскими методами с учетом более симметричных характеристик образующего шторма. Нагоны, образованные внетропическими циклонами, оцениваются в основном стохастическими методами, поскольку такие циклоны, как правило, обладают большой протяженностью, асимметричны и трудны для моделирования. Для оценки таких циклонов следует в качестве дополняющих применять детерминистские методы.

2.25. В большинстве случаев риск наводнения следует критически сравнивать с зафиксированными и историческими данными, а значение максимального проектного наводнения должно быть установлено на уровне не ниже зафиксированной частоты наступления события плюс существенный запас, который должен быть увязан с продолжительностью периода проведения измерений и местными условиями. Это следует делать при условии, что в бассейне вверх или вниз по течению относительно площадки не было значительных изменений.

2.26. Разрушение плотины или цунами, в тех случаях, где это применимо, может вызвать наводнение значительно большей силы, чем при любых

¹² Стохастическая переменная (используемая в гидрологии) – переменная, значение которой, в основном, вероятностное по природе, но может содержать и неслучайную зависимость от времени (или пространства). В стохастических временных рядах один элемент в ряде может тесно соотноситься с соседними элементами, и подобная возможность учитывается в анализе и синтезе рядов.

природных метеорологических явлениях. В этих случаях для оценки величины риска наводнения следует применять методы, приведенные в подразделах, с учетом условий конкретной площадки.

2.27. Как при детерминистском, так и при вероятностном подходах следует определять и применять, в отношении максимального проектного наводнения, контрольную вероятность превышения значения инициирующего события и затопления площадки. Такое значение должно определяться в тесной привязке к условной вероятности того, что такое событие (или аварийная последовательность) может привести к серьезным радиологическим последствиям¹³.

2.28. Во всех случаях следует определять границу неопределенности результата. Это можно сделать посредством проверки степени, до которой прогноз будут подвержен влиянию изменяющихся значений соответствующих параметров, и посредством оценки влияния общего уровня неопределенности этих параметров. Различные методы должны использоваться для проверки степени консерватизма, заложенного в выбранные параметры безопасности.

2.29. Как детерминистским, так и вероятностным методам, в целом, присущи ограничения, связанные с их применимостью, и обуславливающие необходимость проведения оценки их достоверности. Например, при детерминистских методах невозможно количественно выразить уровень безопасности, а при вероятностных методах имеет место недостаточная достоверность результатов экстраполяции до очень низких значений вероятности превышения. К тому же, применение детерминистских методов

¹³ Контрольная вероятность превышения значения для инициирующего события и затопления площадки определяется в разных государствах различными способами. Вероятность наступления события, вызывающего максимальное проектное наводнение, может приниматься на один или более порядков выше, чем вероятность, связанная с максимальным проектным наводнением, с тем, чтобы обозначить необходимую цель для вероятностных методов или обоснованные эквивалентные пороговые значения для детерминистских методов. Более того, выбор уровня вероятности для максимального проектного наводнения должен обеспечивать наличие достаточного запаса по безопасности для защиты станции от серьезных радиологических последствий. Например, если вероятностный предел для серьезной радиологической аварии составляет 1×10^{-7} /год, то вероятность наступления максимального проектного наводнения может составлять 1×10^{-4} /год при условии, что в случае затопления запас по безопасности (т.е. условная вероятность) для серьезной радиологической аварии остается ниже, чем 1×10^{-3} /год.

требует данных по региону, которых в некоторых частях света может не быть в наличии. Подобным образом, использование вероятностных методов требует измерений, которые провести невозможно. Качество и объем имеющихся исторических серий данных следует рассматривать в качестве референтных критериев при выборе метода.

3. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

3.1. В соответствии с общими процедурами, изложенными в [1], возможность наводнения является одной из характеристик площадки, оценка которой должна быть проведена как в ходе анализа района размещения на этапе выбора площадки строительства АЭС, так и на этапе оценки площадки.

3.2. Наиболее подходящей мерой защиты от наводнения должно быть сооружение станции на уровне, на котором она не будет подвергаться такому воздействию. Поэтому предварительная оценка уровня наводнения является исключительно важной и ей следует уделять должное внимание при выборе площадки.

3.3. На этапе выбора площадки в некоторых случаях может быть ясно, что потенциала для наводнения не существует, например, из-за месторасположения или высотности. В этом случае предварительная оценка должна быть подкреплена достаточной документацией, демонстрирующей, что либо станция не будет подвергаться воздействию потенциального наводнения, либо что потенциал наступления наводнения незначителен и не оказывает влияния на безопасность.

3.4. Проведение подробного анализа наводнения на этапе выбора площадки, чаще всего, невозможно. Как правило, для грубой оценки экстремального наводнения применяются эмпирические методы и методы аппроксимации. Выбор метода будет зависеть от имеющихся данных и характеристик региона. Результаты оценки следует критически сравнивать с любыми измеренными или каким-либо иным образом зафиксированными данными.

3.5. Референтные площадки, рассматриваемые в настоящем Руководстве по безопасности, относятся к двум основным категориям:

- 1) Площадки, подверженные прибрежному затоплению, - это площадки, расположенные в прибрежных районах незамкнутых водных пространств, а также у полузамкнутых и замкнутых водных пространств, имеющих размеры, при которых гидрологическое воздействие нельзя сопоставить с гидрологическим воздействием небольшого озера. Незамкнутыми прибрежными регионами являются территории, непосредственно примыкающие к крупному водному пространству и имеющие соответствующую береговую линию. Полузамкнутые водные пространства – это лагуны, устья рек, заливы, фьорды и риасовые берега. Озера и водоемы являются замкнутыми водными пространствами.
- 2) Площадки, подверженные затоплению при разливе рек, – это площадки, расположенные по берегам рек или, как правило, в бассейнах рек.

3.6. При сборе и обработке данных следует учитывать различную природу явлений, вызывающих наводнение. Наводнения значительным образом различаются по своей природе и причинам, связанным с этой природой:

- 1) *Частые явления.* В случае частых явлений, морская среда, метеорологические или климатические условия характеризуются такими переменными, связанными с наводнением, как уровень воды, количество атмосферных осадков и скорость ветра. Экстремальные значения этих переменных могут быть получены посредством статистического анализа результатов типовых измерений, полученных с сети стационарных станций международных, национальных, местных или частных океанографических, гидрографических или метеорологических служб.
- 2) *Редкие явления.* Редкими являются такие явления, как цунами или разрушение плотины, которые наступают не часто. На любой конкретной станции аппаратура, используемая для рутинного измерения переменных, редко фиксирует характеристики этих явлений, и, как правило, поэтому широко применяется моделирование и проводится сравнение с площадками, расположенными в других местах. Значения интенсивности редких явлений могут быть выражены либо качественной характеристикой, такой как повреждение, либо количественным физическим параметром.

ПЛОЩАДКИ, РАСПОЛОЖЕННЫЕ НА МОРСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ

3.7. При проведении анализа района размещения, в тех случаях, когда район включает в себя побережье, следует проводить предварительную оценку затопления прибрежных зон. На предварительном этапе выбора площадки следует выделять наиболее значимые события, ведущие к затоплению, в особенности нагоны, цунами, сейши и волны, а также составляющие контрольных уровней. Если потенциал затопления прибрежных зон является значительным и принимается решение учитывать затопление прибрежных областей в анализе района размещения, то для выявления зон, подверженных воздействию нагонов, сейшей и цунами, и соответствующих компонентов контрольных уровней воды, следует применять приведенные ниже методы аппроксимации:

- (a) Участки побережья, которые наиболее часто подвергаются воздействию нагонов, цунами и волн, вызванных ветром ураганной силы, следует определять на основе карт планирования землепользования и противоаварийных мероприятий на случай чрезвычайных ситуаций, связанных с паводком. Хотя время повторения событий, рассматриваемых при составлении этих карт, как правило, невелико (напр., 30–50 лет), тем не менее, эти карты будут весьма полезны для предварительного отбора.
- (b) Также, при определении зон, подверженных затоплению, могут оказаться полезны снимки аэрофото- и спутниковой съемки.
- (c) Если для района размещения ранее точно определялись вероятный штормовой нагон или максимальная вероятная цунами, то для изучаемого участка побережья должны быть построены огибающие кривые и оценена магнитуа результатов с учетом воздействия волн и приливов. Может оказаться полезным построение кривых экстремальных нагонов и цунами с известным средним временем повторяемости (напр., 100, 50 или 20 лет) по историческим данным на одном графике вместе с расчетными значениями максимального вероятного шторма или максимальной вероятной цунами.

3.8. При оценке площадки на этапах технико-экономического обоснования и верификации (т.е. оценки пригодности площадки для размещения станции), прежде всего, следует составить крупномасштабную и долговременную метеорологическую модель территории, а затем провести предварительную оценку значимых событий, вызывающих наводнение, для предлагаемой площадки.

3.9. Затем следует провести исследование более подробное, чем в случае изучения экстремальных метеорологических условий района. Рекомендации и указания относительно методов и параметров представлены в [4].

3.10. Потенциал штормовых нагонов в отношении площадки следует оценивать на основе метеорологической и гидрологической информации. Если определено, что имеет место потенциал наступления штормовых нагонов, то следует провести предварительную оценку штормовых нагонов на площадке. Исследования конкретных примеров сильных штормов в регионе следует проводить для определения следующих характеристик критических штормов, которые могут привести к нагонам на площадке, причем с превышением достаточно малой вероятности (см. также [4]):

- минимальное давление в центре и соответствующее периферийное давление;
- максимальная длительная скорость ветра и его направление;
- область образования ветровых волн¹⁴;
- продолжительность шторма и сопутствующих ветров;
- направление и скорость движения шторма;
- путь прохождения шторма и, в частности, точка, в которой он наиболее близко подходит к побережью или пересекает его.

3.11. Предварительную оценку высоты максимально вероятного штормового нагона следует проводить с использованием значений параметров, представляющих характеристики, приведенные в качестве входных данных для эмпирических зависимостей. В случаях, когда это возможно, эти результаты следует сравнивать с исторически зарегистрированными данными о штормовых нагонах с целью проверки пригодности применяемого метода. Неприемлемым считается метод, при котором магнитуда полученного расчетного экстремального события ниже магнитуды любого зафиксированного события.

3.12. Информацию о цунами следует собирать, если площадка расположена в цунамиопасном регионе. Хотя по оценкам 80% всех цунами имеют место в регионе Тихого океана, разрушительные события этого типа также происходят в Атлантическом океане, Индийском океане, Карибском море, Средиземном море

¹⁴ Область образования ветровых волн – протяженность морской водной поверхности, над которой присутствует рассматриваемый ветер, измеренная в направлении ветра.

и прилегающих к ним водных пространствах. Следует проводить тщательный анализ каталогов данных о цунами.

3.13. Следует изучать возможность наступления сейсмических событий или вулканической деятельности вблизи побережья, а также подверженность площадки действию цунами, возникающих как локально, так и в отдаленных регионах, даже если за исторически обозримый период времени таких волн в этих регионах зафиксировано не было.

3.14. На данном этапе для оценки цунами подходят вероятностные или упрощенные детерминистские методы. В дополнение к информации, полученной из перечня известных или предполагаемых цунами, процедура оценки включает в себя анализ всех гидрографов конкретной гидрометрической станции в районе размещения площадки с тем, чтобы выявить признаки цунами.

3.15. Для некоторых из известных и предполагаемых цунами из зарегистрированных данных могут быть получены время наступления и максимальная высота волны цунами, от подошвы до гребня, за вычетом прилива. График наступления цунами максимальной высоты в зависимости от средней повторяемости следует использовать в качестве основы для прогнозирования экстремальной цунами, ожидаемой на гидрометрической станции. Корреляцию между регистрацией цунами на гидрометрической станции и на площадке следует анализировать с учетом особенностей прибрежного региона. Поскольку максимальные высоты цунами, зафиксированные гидрографами, могут значительно отличаться от имевших место накатов воды¹⁵ на прилегающих прибрежных территориях, то, где это возможно, следует сравнивать известные уровни наводнения на площадках и уровни, зафиксированные гидрометрическими станциями.

3.16. Следует проводить предварительные оценки высоты и диапазона экстремальной волны для площадки, расположенной на морском побережье. Они должны основываться на собранных исторических данных о максимальной высоте волн по побережью и, по мере необходимости, корректироваться по батиметрическим данным морского дна, обращенного к площадке. Если не имеется исторических данных о волновой активности, то параметры волн

¹⁵ Накат воды – наступление воды на берег или сооружение при опрокидывании волны. Высота наката – это высота над уровнем спокойной воды, достигаемая накатом.

следует оценивать на основе информации о ветрах и областях образования ветровых волн с использованием прогнозных кривых волнения.

3.17. На этом этапе следует проводить предварительную оценку консервативного контрольного уровня воды, которую следует учитывать вместе с характеристиками нагона, сейша, цунами или волны. В случае площадок, расположенных на морском побережье, важной составляющей контрольного уровня воды является высота астрономического прилива.

ПЛОЩАДКИ, РАСПОЛОЖЕННЫЕ НА БЕРЕГАХ РЕК

3.18. Для регионального анализа наводнений на реках и систематического обследования крупных территорий следует применять методы аппроксимации:

- (a) Если для района размещения ранее точно определялся риск наводнения, то для подобных бассейнов того же региона должны быть построены огибающие кривые и оценена величина риска наводнения. Площадь стока следует определять в зависимости от максимального объема паводка; предпочтение может быть отдано более детальным процедурам с использованием набора имеющихся данных. Может оказаться полезным построение кривых наводнений с известным средним временем повторяемости (напр., 100, 50 или 20 лет) и кривых риска наводнения на одном графике.
- (b) Для ускоренной оценки риска наводнения следует проводить комплексный регрессивный анализ площади стока, критической интенсивности дождя, состояния почв и урбанизации.
- (c) Для оценки риска наводнения следует построить огибающие кривые исторических максимальных наводнений в регионе в зависимости от площади стока.
- (d) Для некоторых территорий проводятся исследования зависимости наводнений от известного среднего времени повторяемости и риска наводнения. Если нет, то такие исследования следует провести. С помощью такой информации можно получить необходимые грубые оценки риска наводнения.
- (e) Также, при определении зон, подверженных риску наводнения, могут оказаться полезны снимки аэрофото- и спутниковой съемки. Также, следует провести приближенные проверки соотношений объема и уровня наводнения и протяженности затопляемых территорий.

3.19. Для целей оценки площадки, с учетом наличия данных, могут использоваться следующие методы приближения:

- (а) В случаях, когда имеются гидрологические данные за 30 и более лет, в качестве первого указания на необходимый уровень защиты для целей выбора площадки следует применять эмпирические кривые, экстраполированные на низкие вероятности события. Если получено приблизительное значение объема стока паводка, то максимальный уровень воды следует оценивать с помощью формул Мэннинга на основе среднего уклона дна русла реки, площади поперечного сечения реки и консервативных коэффициентов трения.
- (b) Для бассейнов стока размером в несколько сотен гектаров в зоне, где на характеристики стока не влияют наличие и эксплуатация гидротехнических сооружений, следует применять эмпирические формулы.
- (с) Простая процедура приближения, которую при необходимости следует применять для оценки последствий разрушения плотин, должна допускать, что все соответствующие плотины, расположенные вверх по течению будут разрушены в такие моменты времени, при которых возникает максимально возможное наводнение. Следует учитывать сооружения и препятствия, расположенные вниз по течению плотины и площадки.
- (d) Следует проводить экстраполяцию кривых частотности и зависимостей потоков и уровней, а также следует использовать исторические данные для проверки и возможной корректировки результатов.

СТАБИЛЬНОСТЬ МОРСКИХ И РЕЧНЫХ БЕРЕГОВЫХ ЛИНИЙ

3.20. Следует проводить предварительное исследование в отношении потенциальной нестабильности морской или речной береговой линии, поскольку эрозионные процессы в течение срока эксплуатации АЭС могут оказать воздействие на элементы важные для безопасности. Где это возможно, карты зон эрозии, изображения, полученные с помощью аэрофото- и спутниковой съемки, могут оказаться весьма полезными и должны использоваться для изучения процессов эрозии на больших территориях. На этом этапе следует использовать историческую информацию о важных эрозионных процессах.

ВЛИЯНИЕ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ

3.21. На данном предварительном этапе, в случае площадок, расположенных в высоких широтах, следует учитывать информацию о региональных ледовых условиях.

ПРОЧИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПРИЧИНЫ НАВОДНЕНИЯ

3.22. На данном этапе следует осуществлять сбор предварительных исторических данных об оползнях, лавинах, вулканах и изменениях русла реки.

4. СБОР ДАННЫХ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ПРИГОДНОСТИ ПЛОЩАДКИ

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

4.1. После этапа выбора площадки, если установлено, что существует возможность наводнения или серьезной эрозии на площадке, то следует провести подробное исследование с целью определения основного механизма затопления площадки и, таким образом, определить соответствующее максимальное проектное наводнение для площадки. Подобное исследование следует проводить в рамках оценки безопасности станции. При последнем варианте наивысший приоритет следует отдавать данным, полученным с использованием системы мониторинга площадки, находящейся в эксплуатации со времени этапа предварительной оценки площадки.

4.2. Эти данные должны быть представлены на картах соответствующего масштаба, а также в виде графиков и таблиц. В некоторых случаях, когда существующая система сбора метеорологических и гидрологических данных по бассейну является неудовлетворительной, следует установить и использовать дополнительные станции наблюдения. Хотя период времени для сбора дополнительных данных, как правило, относительно невелик, информация, полученная таким образом, может оказаться важной.

ДАННЫЕ ПО ПЛОЩАДКАМ НА МОРСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ

4.3. Подлежащие сбору гидрологические данные включают в себя:

- места расположения и гидрологические характеристики всех имеющих отношение к площадке водных пространств¹⁶, таких как ручьи, реки, естественные и искусственные озера, а также грунтовые воды;
- описание площадки, включая топографические карты с нанесенными естественными и искусственными стоками и любыми предлагаемыми изменениями;
- приливно-отливные и ежедневные уровни воды (гидрографы) водных пространств в регионе;
- историю наводнений в регионе, включая исторические отметки наводнений и такую информацию, как гидрографы наводнений, даты наступления, максимальные объемы и уровни.

4.4. Подлежащие сбору океанографические и гидрографические данные, если таковые имеют отношение к рассматриваемому региону, включают в себя:

- батиметрическую информацию о водных пространствах, в частности, батиметрию ближайшей прибрежной зоны, обращенной к площадке;
- данные наблюдений за образованием волн и зыби как для нормальных, так и для штормовых условий;
- нагоны и сейши, включая пиковые уровни, гидрографы и соответствующие даты наступления;
- приливы-отливы, аномалии устьев рек и уровня моря;
- наматы и откаты цунами, включая пиковые высотные значения, гидрографы и даты наступления;
- образование льда на море и в устьях рек, включая типы, площадь, толщину и продолжительность;

¹⁶ Водные пространства, имеющие отношение к площадке – все ручьи, реки, естественные или искусственные озера, овраги, болота, осушительные и канализационные системы, которые могут вызвать или повлиять на затопление площадки или расположенные в непосредственной близости от площадки АЭС. Водные пространства, находящиеся за пределами водораздела, в котором расположена станция, но которые могут, за счет переполнения водораздела, вызвать или повлиять на затопление площадки станции, также считаются водными пространствами, имеющими отношение к площадке.

- прибрежные течения, возникающие из-за приливов-отливов и ветра, смещения песка и батиметрические данные (эти данные необходимы в случае, если эрозия береговой линии важна с точки зрения безопасности);
- долговременные и кратковременные данные по эрозии (взятые из таких источников, как прошлые наблюдения, карты, изображения аэрофото- и спутниковой съемки).

4.5. Если не имеется достоверных, подробных топографических и батиметрических карт территории, непосредственно примыкающей к площадке, то следует провести обследования для составления таких карт. Как правило, такие карты включают в себя береговую линию, выходящую на площадку станции, и батиметрию от береговой линии на адекватную глубину (обычно, 30–50 м). Эти батиметрические и топографические карты соответствуют друг другу по береговой линии. Они также могут понадобиться для других целей планирования, выходящих за рамки настоящего Руководства по безопасности, таких как анализ сбросов в морскую среду. Контурные глубин на батиметрических картах указываются, как правило, с интервалами приблизительно 1 м от береговой линии на глубине воды до 6 м и через интервалы приблизительно 3 м от глубины 6 м до отметок 30-50 м. Эти интервалы являются приблизительными и могут варьироваться в зависимости от условий площадки. Отметки ниже 30–50 м следует брать из морских навигационных карт, в противном случае следует провести соответствующее обследование.

4.6. Для батиметрических обследований следует установить базовый уровень. Если фиксированного базового уровня не имеется, то следует создать систему контрольных точек и скоррелировать ее с национальной системой контрольных точек.

4.7. Следует собрать и проанализировать исторические данные об уровнях колебаний сейшей на водном пространстве, прилегающем к площадке. Эти данные могут быть использованы при проверке результатов детерминистских оценок силы сейшей или в качестве основы для стохастической оценки.

4.8. Определить отсутствие потенциала для возникновения сейшей в результате оползней или сейсмического возбуждения только на основе исторических данных невозможно, поскольку такие явления могут не наблюдаться в течение периода, для которого имеются зарегистрированные исторические данные. Поэтому следует проводить исследования стабильности склонов по периметру бассейна и потенциала для сейсмического возбуждения, приводящих к сейшам.

4.9. Следует установить контрольный уровень воды для каждого события, связанного с наводнением или для каждого сочетания таких событий. Для установления этих уровней следует провести исследования в отношении приведенных ниже явлений:

- астрономические приливы;
- аномалии уровня моря;
- изменения в уровне замкнутых водных пространств, таких озера и водоемы;
- изменения уровня из-за расхода реки;
- возможные изменения уровней в будущем из-за ожидаемых крупных изменений мирового климата.

Астрономические приливы

4.10. Амплитуда прилива может значительно отличаться в различных местах. Часто при расчете приливов применяется гармонический анализ, при котором приливные колебания раскладываются на гармонические составляющие. Гармонические константы для прогнозирования приливов на гидрометрических станциях, могут быть получены от местных органов власти.

4.11. При расчете максимального вероятного штормового нагона на побережье незамкнутого водного пространства следует считать, что высокий прилив с достаточно низкой вероятностью превышения совпадет с максимальным вероятным наводнением. Значение вероятности выбирается с учетом вклада прилива в уровень воды для различных значений вероятности. Значения для высоких приливов, в отношении которых предполагается, что они совпадут с различными наводнениями, представлены в Приложении.

4.12. Следует обратить особое внимание на изменения уровня и приливные волны, которые имеют место в устьях некоторых рек, когда меняется режим прилива.

Аномалии уровня моря

4.13. Аномалии уровня моря представляют собой отклонения высотных отметок морской поверхности от высотных отметок для прогнозируемых астрономических приливов. Аномалии уровня моря следует оценивать посредством сравнения данных по астрономическим приливам с прогнозируемыми астрономическими приливами или посредством анализа изменений среднего уровня моря.

4.14. При определении максимального вероятного штормового нагона, аномалию уровня моря следует принимать во внимание, если выбранная репрезентативная высота прилива основана только на прогнозируемых уровнях прилива. Если выбранная репрезентативная высота прилива основывается на зафиксированных данных, то аномалию уровня моря следует учитывать только тогда, когда обнаружены систематические изменения в уровне прилива. Если зафиксированные данные о приливах за продолжительный период времени показывают средние высокие или средние низкие уровни, которые последовательно повышаются или понижаются по сравнению с уровнями прогнозируемых астрономических приливов, то такое изменение прилива следует считать аномалией уровня моря. В этом случае прогноз по изменению прилива в течение срока службы АЭС следует добавлять к выбранному репрезентативному высокому приливу для использования при выборе проектных значений.

Уровень воды замкнутых водных пространств

4.15. Контрольный уровень воды замкнутого водного пространства, не являющегося предметом контроля со стороны человека, следует принимать в качестве среднего значения для всех данных об уровне воды за определенный период времени. Нагоны и сейши вызывают изменения только переходного уровня воды и не изменяют в значительной степени средний уровень воды. Контрольный уровень воды, на который накладывается рассчитанный максимальный вероятный штормовой нагон или максимальный вероятный сейш, следует выбирать таким образом, чтобы вероятность его превышения в течение срока службы станции находилась на достаточно низком уровне¹⁷.

ДАННЫЕ ПО ПЛОЩАДКАМ, РАСПОЛОЖЕННЫМ НА БЕРЕГАХ РЕК

4.16. Для статистического анализа временных рядов, подходящих для оценки площадки следует собирать данные за период минимум 50 лет. Подлежащие сбору гидрологические данные должны включать в себя:

¹⁷ В различных странах применяются различные критерии в отношении уровня воды, такие как:

- 10%-ное превышение высокого прилива (т.е. высокий прилив, который равен или превышает на 10% ежемесячные максимальные астрономические приливы непрерывно в течение 21 года);
- среднегодовой весенний прилив;
- наивысший астрономический прилив за 19-летний период.

- места расположения и гидрологические характеристики всех водных пространств, имеющих отношение к площадке, в регионе;
- описание площадки, включая топографические карты, показывающие реальные особенности стока и предлагаемые изменения;
- места размещения существующих и планируемых гидротехнических объектов, как вверх, так и вниз по течению относительно площадки, которые могут повлиять на условия площадки;
- исторические данные о наводнениях в регионе, включая исторические отметки паводков и такую информацию, как гидрографы наводнений, даты наступления, а также максимальные стоки и уровни;
- русло реки (гидравлические и геометрические данные);
- зарегистрированные данные о ежедневных стоках и ежегодных максимальных паводках, а также исторические отметки паводков за период ведения записей на ближайших к площадке гидрометрических станциях и всех соответствующих гидрометрических станциях в гидрологически гомогенных регионах¹⁸, в которые входят бассейны водных пространств, имеющих отношение к площадке.

4.17. В случаях, когда площадки расположены вдоль полузамкнутых водных пространств, таких как устья рек, контрольный уровень воды может зависеть от астрономических приливов в сочетании со стоком реки. В регионах, где экстремальные наводнения возникают, в основном, по океанографическим причинам, необходимо лишь выбрать соответствующее значение для стока реки (которое не должно превышать в течение десятков лет); для определения максимального проектного наводнения его следует рассматривать совместно с соответствующим сочетанием максимального вероятного нагона, цунами,

¹⁸ Гидрологически гомогенный регион – регион, в отношении которого может быть использована гидрологическая модель для переноса гидрологических данных с использованием тех же самых параметров, изменяющихся систематически, как функций определяемых характеристик пространственных переменных региона.

ветровой волны и прилива. В других случаях, где большую важность представляет разлив реки, принимаемое решение должно отвечать конкретному случаю¹⁹.

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

4.18. Процедуры сбора и обработки данных представлены в [4].

СЕЙСМИЧЕСКИЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ПО ПЛОЩАДКАМ НА МОРСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ

4.19. В случае если имеется потенциал для образования цунами, производится сбор следующих сейсмических и геологических данных:

- всех соответствующих исторических данных о цунами, в особенности о цунами на площадке, в других местах на побережье с топографическими и батиметрическими характеристиками, сходными с характеристиками рассматриваемой площадки, и других местах на побережье, где не ожидается значимого увеличения активности цунами;
- сейсмические и геологические данные для использования при определении исходных характеристик наиболее мощного источника потенциальных цунами, как расположенного рядом, так и на большом расстоянии;
- топографические и прибрежные батиметрические данные до глубин, необходимых для проведения адекватной оценки, которые могут иметь место на границе континентального шельфа;
- донные и подводные оползни и вулканическая деятельность;

¹⁹ Примерами этого являются:

- площадка, расположенная в зоне перехода от океанического к морскому режиму, где экстремальные уровни воды могут быть вызваны как океанографическими явлениями, так и стоком реки;
- площадка, где площадь стока реки расположена на территории действия тропического циклона таким образом, что максимальный вероятный тропический циклон не только вызывает нагон, но также может вызвать наводнение на реке. При этом имеется возможность совпадения как максимального проектного наводнения за счет атмосферных осадков, так максимального вероятного штормового нагона на побережье.

- типы осадок и характеристики эрозийности морского дна вблизи водозаборного сооружения и станции.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ О ПЛОЩАДКЕ

Описание побережья (площадки на морском побережье)

4.20. Помимо океанографических, гидрографических, топографических, гидрологических, метеорологических, сейсмических и геологических данных, о которых шла речь выше, следует подробно представить природные и техногенные характеристики береговой топографии площадки, необходимые для анализа наводнений на морском побережье.

4.21. Следует представить описание водных пространств района размещения, которые могут оказывать влияние на формирование наводнений. Такие водные пространства могут включать в себя озера, устья рек, реки и заливы. В случае озер, описание включает в себя данные о среднем уровне и нормальном диапазоне уровней, а в случае площадок, расположенных на берегу моря или устья реки, нормальные диапазоны прилива. Данные, которые необходимо собирать, и которые по большей части следует представлять в виде карт и таблиц, удобном для обработки, в частности, включают в себя:

- подробную контурную карту территории в окрестностях площадки;
- контурную карту более мелкого масштаба для демонстрации общей возможности воздействия и отношения площадки к морю или океану;
- батиметрические данные о территории со стороны моря (более подробно для прибрежного мелководья);
- типы осадок и характеристики эрозийности как береговой линии, так и прибрежных донных территорий;
- растительный покров;
- естественные специфические особенности побережья или прибрежной зоны, или препятствия, а также их месторасположение и описание, включая предполагаемые изменения;
- искусственные береговые или морские сооружения (существующие или планируемые), их месторасположение и описание, а также любое известное или предполагаемое воздействие на наводнение.

Описание водосборного бассейна (площадки на берегах рек)

4.22. Для проведения анализа наводнения необходимо хорошее знание водосборного бассейна. Характеристики бассейна в значительной степени влияют на пиковые значения и форму гидрографа, время задержки между атмосферными осадками или таянием снега и наступлением наводнения, а также модели осаджения и эрозии, которые могут иметь место во время наводнения и другие периоды. Вся эта информация должна быть собрана и тщательно проанализирована. Знание этих характеристик в значительной степени позволяет понять происхождение и модели развития наводнений, вызванных факторами, отличающимися от стока в результате дождя и/или таяния снега, такими как последствия, связанные с льдообразованием, оползнями, а также изменениями бассейна и русла под влиянием природных и искусственных причин. Техногенные изменения бассейна могут вызывать отклонения от устойчивого во времени характера наводнений. Следует проводить сбор информации как о природных, так и о техногенных характеристиках бассейна.

4.23. В дополнение к гидрологическим и метеорологическим данным следует собирать информацию о природных характеристиках бассейна, включающих в себя, насколько это уместно:

- границы водораздела;
- подробную топографию;
- геологические и гидрогеологические данные;
- выявление территорий, подверженных оползневым явлениям;
- сейсмические и вулканические характеристики;
- характеристики грунтов, в частности, характеристики, связанные с инфильтрацией и эрозийностью;
- информацию о растительном покрове, в особенности типы растительности, озера, болота и ледники, территории, подверженные нагонам, вызванным оледенением, территории с круглогодичным снежным покровом и территории, для которых характерны лавины;
- изменения растительного и лесного покрова, а также степные и лесные пожары (исторические данные);
- сеть стоков и гидроморфологические характеристики русла, такие как уклон, ширина и глубина основного русла и поймы, а также характеристики рельефа и донных отложений различного порядка;
- изменения русла в исторически обозримый период (исторические данные).

4.24. Большую часть указанной выше информации следует представлять в удобной картографической или табличной форме. Масштаб карт следует выбирать таким образом, чтобы карты охватывали весь бассейн и точно отражали имеющуюся информацию. При использовании информации о бассейне в процессе анализа следует обращать внимание на то, что применение усредненных (общих) показателей не снижает важности самой информации.

4.25. Влияние человеческой деятельности на гидрологические характеристики обусловлено, в основном, двумя видами деятельности: (а) изменениями в землепользовании; (б) изменением существующих русел и долин, например при сооружении новых русел. В то время, как последствия последнего вида деятельности вполне понятны, первый вид деятельности также может представлять важность, и, во всех случаях, должен учитываться. Следует осуществлять сбор соответствующей информации о прошлой и возможной будущей деятельности, включая:

- (а) Изменения в землепользовании в бассейне реки, особенно изменения:
 - на возделываемых территориях и в сельскохозяйственных методах;
 - в зонах и методах вырубки (обезлесения);
 - в городских зонах, плотности населения, методах обустройства ливневой канализации;
 - в транспортных сетях и характеристиках;
 - в горнодобывающей деятельности и состоянии соответствующих месторождений полезных ископаемых.
- (б) Изменения в руслах и долинах рек, связанные со следующими типами сооружений:
 - плотины и искусственные водоемы;
 - водосливные плотины и шлюзы;
 - дамбы и другие сооружения для защиты от наводнения на реках;
 - перенаправление стока в или из бассейна;
 - пути отвода паводка;
 - русловыправительные работы;
 - мосты и транспортные набережные.

4.26. В случае сооружений, упомянутых в п. б), следует представлять следующую информацию, насколько это уместно:

- сроки сооружения, пуска и начала эксплуатации;
- организации, отвечающие за управление и эксплуатацию;
- характер и тип основных и значимых приплотинных сооружений;

- характеристики водохранилища, данные о противопаводочной конструкции, факторы безопасности, учитываемые при оценке максимального, нормального и среднего подъема бьефа и водохранилища;
- меры против наводнения и действия в чрезвычайной ситуации;
- гидрографы расчетного притока;
- данные о сейсмостойкости конструкций;
- размер и месторасположение защищаемых территорий;
- воздействия на сток, льдообразование, отложения и мусор;
- намывные и размывные явления²⁰.

5. НАВОДНЕНИЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ШТОРМОВОГО НАГОНА

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

5.1. На площадках, расположенных у незамкнутых водных пространств, повышение уровня воды в результате нагона, как правило, представляет собой единичный максимальный нагон, вызванный штормовым ветром. Здесь, прежде всего, следует определять влияние волн. В случае замкнутых или полузамкнутых водных пространств, таких как озера или заливы, шторм может вызвать колебания водной поверхности, приводящие к многовершинным гидрографам нагонов.

5.2. Нагоны возникают в результате штормов или циклонов [4].²¹ Рассматриваемый эффект представляет собой водяную волну: максимальный нагон в результате циклона на площадке, как правило, возникает, когда траектория циклона проходит слева относительно площадки в северном полушарии (с моря на землю) и справа относительно площадки в южном полушарии. Место максимального нагона на побережье может не совпадать с местом образования волны максимальной высоты. Длина нагона волны, используемая для условий максимального волнения, может отличаться от

²⁰ Намывные явления – повышение уровня русла реки или поймы. Размывные явления – понижение уровня русла реки или поймы. У обоих явлений могут быть различные динамические причины.

²¹ В [6] циклонические явления сгруппированы по системам повышенного давления и представлены подробные описания их характеристик.

условий максимального нагона. Поэтому в качестве исходных данных для оценки нагона с целью определения критических сочетаний параметров, приводящих к наиболее сильному наводнению, следует использовать различные сочетания параметров циклона.

5.3. Внетропические циклоны представляют собой подвижные фронтальные циклоны, которые имеют место в средних и высоких широтах. Такие циклоны ведут к возникновению самых сильных ветров в холодное время года, поскольку их образованию способствует, в основном, разница температур воздушных масс, которая в наибольшей степени проявляется в это время года.

5.4. В случае площадок, расположенных по берегам рек и в устьях рек, которые впадают в крупные водные пространства, для расчета максимального возможного штормового нагона потребуются эмпирическая или математическая маршрутизация стока вверх по течению от рассматриваемого места. Площадки, расположенные на берегах замкнутых водных пространств, следует анализировать с помощью одно- или двухмерных моделей нагона.

ДЕТЕРМИНИСТСКАЯ ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНОГО ВЕРОЯТНОГО ШТОРМОВОГО НАГОНА

5.5. Чтобы получить значение максимального вероятного штормового нагона с помощью детерминистского метода, следует построить ряд максимальных гипотетических циклонов в соответствии с указаниями, приведенными в [4], со сдвигом к месту, которое является критическим для циклона на площадке, и затем использовать его в качестве исходных данных для подходящей модели нагона. Применение детерминистского метода не является уникальным процессом, а скорее сочетанием процедур транспортировки, максимализации и оценки, при котором гидролог и метеоролог должны вынести свою экспертную оценку. Эта процедура может непосредственно применяться в отношении тропических циклонов, однако при ее применении к внетропическим циклонам могут возникнуть некоторые трудности. Эта процедура должна включать в себя выбор максимального возможного циклона, который будет использоваться при оценке нагона, и оценку нагонов для незамкнутых прибрежных морских регионов, а также замкнутых и полужамкнутых водных пространств.

СТОХАСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНОГО ВЕРОЯТНОГО ШТОРМОВОГО НАГОНА

5.6. Стохастический метод следует применять для оценки максимального вероятного штормового нагона, если имеются достоверные данные о нагонах (о перепадах уровня прилива и окончательного уровня воды), которые охватывают достаточно длительный период времени и собраны с соответствующего числа гидрометрических станций в регионе. Данные о нагонах следует иметь в виде значений уровней спокойной воды²², исключая влияние волн высокой интенсивности и астрономических приливов. Как правило, это случаи, когда имеются инструментальные данные о нагонах для определенного региона. Связанную с этим волновую активность следует оценивать отдельно.

5.7. Следует проводить корреляцию временных рядов по нескольким местам, что обеспечит основу для составления синтетических временных рядов, достоверных в течение более продолжительного интервала, чем временной интервал местных наблюдений. Использование временных рядов с других представительных гидрометрических станций расширит основу анализа и сделает его результаты более достоверными.

5.8. При использовании реальных уровней нагона в качестве основных параметров, обязательно учитываются различные факторы, связанные с интенсивностью, путями распространения и продолжительностью циклонов, если записи охватывают достаточно продолжительные периоды времени. У этого подхода есть свои преимущества, и его следует применять в максимально возможной степени, особенно в отношении регионов, подверженных внетропическим циклонам, поскольку такие циклоны могут быть весьма обширными и сложными, и поэтому их трудно моделировать в виде, который подходит в качестве исходных данных для детерминистского метода.

5.9. Как правило, стохастические анализы не дают адекватную информацию о физической достоверности полученных результатов. По этой причине следует проводить упрощенное детерминистское исследование для проверки результатов стохастического анализа. Также, следует использовать физическую модель, подходящую для данного региона. Такая проверка состоит из двух этапов:

²² Уровень спокойной воды – отметка, которой достигнет поверхность воды при отсутствии всей кратковременной волновой активности.

- валидация упрощенной детерминистской модели с использованием параметров реального циклона в качестве исходной информации для модели и сравнением результатов с зафиксированными измерениями имевших место нагонов;
- исследование соответствующих вероятности, силы и физической реальности тех параметров циклона, которые, при использовании в детерминистской модели, дают такой же уровень нагона, что и полученный по результатам стохастического анализа.

МАКСИМАЛЬНЫЕ ВЕРОЯТНЫЕ ШТОРМЫ

5.10. Шторм, вызывающий максимальный вероятный штормовой нагон, в зависимости от месторасположения площадки и характеристик региона, может представлять собой максимальный вероятный тропический циклон²³ или максимальный вероятный внетропический циклон²⁴. Для каждой площадки шторм, вызывающий максимальный вероятный штормовой нагон, следует выбирать на основе информации, представленной в [4]. При расчете максимального вероятного штормового нагона следует делать допущение, что одновременно со штормовым нагоном может иметь место контрольный уровень воды, такой как высокий прилив или высокий уровень озера, с достаточно низкой вероятностью превышения. Ниже приведены соображения относительно вероятности наступления сочетаний событий.

5.11. Анализ состоит в выборе таких подходящих параметров шторма и других, относящихся к вопросу параметров (напр., максимальная скорость ветра,

²³ Максимальный вероятный тропический циклон – это гипотетический тропический циклон. Он характеризуется как ураган с сочетанием характеристик, которые его еще более усиливают с точки зрения наводнения, который можно обоснованно ожидать в данном регионе и который достигает рассматриваемой точки по критическому пути и на скорости движения, которая приведет к наиболее неблагоприятному наводнению.

²⁴ Максимальный вероятный внетропический циклон – это гипотетический внетропический циклон (часто называемый «разряжением» или «зоной пониженного атмосферного давления» и возникающий в средних широтах или в высоких широтах более 25°СШ или 25°ЮШ). Он обладает метеорологическими штормовыми параметрами в наиболее тяжелом сочетании с точки зрения наводнения, которое считается обоснованно возможным в регионе, и который достигает рассматриваемой точки по критическому пути и на скорости движения, которая приведет к наиболее неблагоприятному наводнению.

перепад атмосферного давления, донное трение и коэффициенты ветрового давления), которые будут использоваться в качестве исходных данных для одно- или двухмерной модели штормового нагона, которая в максимальной степени увеличивает потенциал затопления. Все параметры должны быть консервативно оценены и соответствующим образом обоснованы.

5.12. В результате анализа штормового нагона получают следующие данные:

- Надводное поле ветра и градиенты давления для исходного положения каждого шторма и для указанных более поздних моментов времени.
- Сводные результаты расчетов штормового нагона, включая суммарное увеличение глубины воды по каждому указанному глубинному профилю, начиная с «глубокой воды»²⁵ и до берега в исходный момент времени и указанные более поздние моменты времени.
- Сводные таблицы и графики суммарных гидрографов штормовых нагонов для указанных мест.

Незамкнутые морские прибрежные регионы

5.13. Для расчета максимального вероятного штормового нагона следует выбирать подходящие проверенные модели. Опыт показывает, что в случае тропических циклонов для площадок, расположенных в незамкнутых морских прибрежных регионах, может подойти одномерная модель. Тем не менее, в случае внетропических циклонов и тропических циклонов одномерная модель может оказаться неадекватной, если конфигурация побережья или структура поля ветра имеет весьма сложный профиль. В таком случае следует применять двухмерную модель, которая уже была принята для этой цели или продемонстрировано, что она является консервативной. Метеорологические переменные, описывающие такой циклон – это модель поля ветра, перепад давления, а также скорость продвижения и поступательного движения центра циклона. Результатами метеорологического анализа являются экстремальное поле ветра и перепад давления, которые затем следует перемещать по различным траекториям с оптимальной для генерирования циклона скоростью поступательного движения с тем, чтобы определить наибольший нагон для конкретного месторасположения.

²⁵ «Глубокая вода» – вода на глубине более $L/2$, где L – длина рассматриваемой поверхностной волны.

5.14. Возможно, что циклон или внетропический циклон, вызывающий максимальный уровень воды при максимальном вероятном штормовом нагоне, не является критическим условием с точки зрения проектирования. Другие циклоны или штормы могут генерировать нагоны с низкими максимумами, но приводить к высоким уровням воды большей продолжительности или ветрам с более высокой скоростью и более высоким волнам. Волновая активность, связанная с этими циклонами или штормами, может приводить к более высоким проектным уровням воды. Также, в случае площадок, расположенных в заливах, циклоны или штормы, генерирующие пиковые нагоны, которые ниже по уровню, но дольше по продолжительности для побережья незамкнутых водных пространств, могут приводить к высоким пиковым нагонам и более тяжелым волновым условиям внутри залива, что ведет к более высоким проектным уровням воды. Поэтому, следует учитывать циклоны или штормы, не относящиеся к циклонам и штормам, вызывающим пиковые нагоны на незамкнутых побережьях, но способные приводить к последствиям, описанным выше.

Полузамкнутые водные пространства

5.15. В случае полузамкнутых водных пространств, максимальный вероятный штормовой нагон следует рассчитывать с помощью валидированных одно- или двухмерных математических моделей. Следует тщательно выбирать подходящее сочетание параметров, при которых образуется наиболее тяжелый нагон на площадке. При анализе штормовых нагонов на таких водных пространствах, как правило, сначала проводится оценка штормового нагона на открытом берегу, а потом прокладывается его маршрут через вход в залив, по заливу или реке до площадки. Сочетание параметров, при котором образуется наиболее высокий нагон на открытом берегу, не обязательно указывает на наиболее высокий нагон на площадке, расположенной на берегу залива или в устье реки. Однако существует оптимизированный набор параметров, в частности, направление циклона и поступательная скорость его движения по заливу или реке, при котором образуется максимальный нагон на площадке. Для оценки движения воды в полузамкнутом бассейне может подойти одномерная переходная модель для расчета резонансных эффектов для узкого водного пространства с одним входом, в то время как для водных пространств другой формы необходим анализ с помощью двухмерной переходной модели. При расчете нагонов в полузамкнутых водных пространствах следует консервативно выбирать или оценивать ветровое волнение, контрольные уровни, включая астрономические приливы, аномалии уровня моря, а также уместное донное трение и коэффициенты ветрового напряжения.

5.16. Отдельного расчета нагона на открытом берегу и маршрутизированного нагона не требуется, если территория, используемая в двухмерной модели, достаточно велика, чтобы на ней поместилось все поле ветра таким образом, что повышение уровня воды по открытой границе модели было незначительным. Более того, в случае площадок, расположенных в заливах с низкими береговыми бермами и низкими поймами, возможен перелив за береговые бермы и нагоны на незамкнутых водных пространствах с пиками ниже максимальных, но более продолжительные по времени, могут приводить к наиболее высоким нагонам на таких площадках. Следует учитывать возможность наступления такого события, а также эрозию береговых бERM и входов в залив, которая может ухудшить условия наводнения.

5.17. В результаты анализа нагона для полужамкнутого водного пространства следует включать рассчитанные временные диаграммы соответствующих нагонов на открытых берегах, сток воды через вход, профили нагона вверх по заливу или реке, вклад в повышение уровня за счет боковых ветров, а также, насколько уместно, вклад за счет поверхностного стока и расхода реки.

Замкнутые водные пространства

5.18. В случае замкнутых водных пространств, максимальный вероятный штормовой нагон следует рассчитывать с помощью валидированных одно- или двухмерных математических моделей. В качестве исходных данных для этого анализа служит критическая часть поля ветра, откорректированная для любых последствий на суше. Выбор коэффициентов и граничных условий следует основывать на консервативных допущениях. В случаях, когда используются одномерные модели, подъем воды за счет поперечного или бокового ветра или поперечная составляющая сейша рассчитывается отдельно и прибавляется к повышению уровня воды за счет продольного ветра. Если водное пространство чувствительно к резонансу, то переходные реакции также следует учитывать отдельно в одномерной модели. Если считается, что данное водное пространство имеет относительно малую чувствительность к резонансу, то следует провести анализ для обоснования этого. Переходные двухмерные математические модели автоматически учитывают поперечные составляющие и эффекты резонанса. Составляющими максимальных возможных уровней спокойной воды являются подъем уровня воды за счет продольного, поперечного или бокового ветра и контрольный уровень воды.

5.19. Контрольный уровень воды, на который накладывается рассчитанный нагон или сейш, следует выбирать таким, чтобы он обладал достаточно низкой вероятностью превышения. Как правило, принимается ежемесячный средний

высокий уровень воды за 100 лет или, если уровень контролируется, то используется максимальный контролируемый уровень воды. При определении высокого уровня воды за период в 100 лет, получают максимальные среднемесячные значения за 12 месяцев в каждом году за весь период регистрации данных, и затем эти ежегодные максимальные значения используются в частотном анализе.

6. ВОЛНЫ

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

6.1. При анализе наводнения на площадках, расположенных на морском побережье, следует учитывать волны, возникающие под действием ветра (поверхностные гравитационные волны). Расчет экстремальных событий (таких как нагоны, сейши или цунами) и связанных с ними ветровых волн следует выполнять совместно, поскольку результаты являются нелинейными и нецелесообразно оценивать частичные эффекты по отдельности, а затем складывать для получения величины максимального уровня наводнения.

6.2. Для определения волновых эффектов, прежде всего, следует выбрать генерирующее поле ветра [4]. Затем следует оценивать глубоководные волны, волны переходной зоны²⁶ и мелководные волны, сгенерированные этим полем ветра. В конечном итоге, следует определить спектр прибрежной волны и ее максимальные значения, воздействующие на каждое сооружение важное для безопасности. Спектры и периоды волнения будут генерироваться ветром; максимальные значения как волнения, так и периода будут изменяться в зависимости от скорости, продолжительности и направления ветра, а также области образования волн над которой он дует, а на мелкой воде²⁷ и от глубины воды. Эти параметры постоянно изменяются во время движения шторма. При определении влияния волн следует исследовать следующие аспекты:

— поле ветра, генерирующего волны;

²⁶ «Переходная зона» – глубина воды менее $L/2$, но больше $L/25$, где L – длина рассматриваемой поверхностной волны.

²⁷ «Мелкая вода» – глубина воды менее $L/25$, где L – длина рассматриваемой поверхностной волны.

- образование волн в акватории;
- трансформация акваториальных волн;
- спектр прибрежных волн;
- увеличение уровня прибрежных вод за счет волнения;
- подъем воды, накат и локальные штормовые эффекты.

ПОЛЕ ВЕТРА

6.3. Для оценки волн, прежде всего, следует выбрать поле ветра, генерирующего волны. Если волна будет учитываться совместно с нагоном, то для определения поля ветра может рассматриваться тип шторма, подобный тому, при котором образуется нагон. В этом случае для определения критического поля ветра следует рассчитывать векторы ветра по критическим областям образования волн для различных моментов времени в течение прохождения шторма вблизи площадки. Профили составляющей ветра вдоль области волнообразования следует составлять с использованием изменений во времени средних векторов ветра по протяженности области волнообразования. Значения для этих ветров вместе со средними глубинами для образования волн на мелкой воде и в переходной зоне следует использовать в качестве исходных данных для расчетов волн в акватории. Затем следует вывести значащую высоту и периоды волны²⁸ с учетом фазового сдвига во времени на генерацию этих волн и их прохождение по области волнообразования.

6.4. Если штормовой нагон определялся с помощью стохастического подхода, то следует выбирать такие параметры шторма (барическое поле, поле ветра, скорость, направление и трассу), при которых мог бы образоваться нагон, определенный при стохастическом подходе, с тем, чтобы для волнообразования применять согласованные параметры. Если волновые эффекты считаются вместе с цунами, то в качестве исходного параметра для таких волн, образованных сильным ветром, следует использовать поле ветра с периодом повторяемости в несколько лет. Скорость ветра можно оценивать с помощью анализа крайних значений, как представлено в [4]. Область и соответствующее направление волнообразования следует оценивать по региональным метеорологическим данным и характеристикам шторма, который может ассоциироваться с оцениваемой скоростью ветра.

²⁸ Значащая высота волны – измеренная по срединной линии высота верхней трети волны.

6.5. Для некоторых прибрежных морских площадок воздействие ветровых волн являются доминирующим аспектом в отношении затопления. В этом случае особое внимание следует уделять выбору подходящих исходных характеристик штормов при определении максимальных последствий на АЭС. При этом условии результатом может стать штормовой нагон ниже максимального, однако результирующее затопление будет максимальным.

ОБРАЗОВАНИЕ ВОЛН В АКВАТОРИИ

6.6. Глубоководные волны, волны переходной зоны и мелководные волны следует оценивать исходя из выбранного поля ветра. В упрощенных методах такой оценки допускается, что ветер дует в одном направлении: эти методы основываются на полуэмпирических зависимостях и в качестве исходных данных в них используются область волнообразования, скорость ветра и продолжительность ветра, а также, в случае мелководных волн, глубина воды. В тех случаях, когда такие допущения не справедливы, следует применять двухмерные спектральные модели волн.

6.7. Образование волн медленно движущимися циклонами или штормами [4] может оцениваться методами, в которых в качестве исходных параметров для расчета значимых высот и периодов волны для глубоководных волн в точке ветра максимальной силы используются радиус ветров с максимальными параметрами, перепад давления, поступательная скорость барической системы и максимальная длительная скорость ветра. Другие приемлемые методы основываются на использовании модели волнового спектра.

6.8. Волны, образованные непосредственно под действием ветра в переходной зоне и на мелкой воде, также оцениваются отдельно от глубоководных волн. После того, как глубоководные волны выходят на мелководье, они теряют часть своей энергии и могут уменьшиться до такой высоты, при которой не будут критическими для площадки. Поэтому, как глубоководные, так и мелководные волны следует оценивать на основе соответствующей корректировки критической области образования ветровых волн для площадки АЭС.

6.9. Для проверки результатов анализа волн, образованных в акватории, следует применять имеющиеся исторические данные (полученные при наблюдениях, «ретроспективно спрогнозированные и/или измеренные, включая спутниковые данные) об экстремальных волнах в данном регионе.

ТРАНСФОРМАЦИЯ АКВАТОРИАЛЬНЫХ ВОЛН

6.10. По мере того, как акваториальные значащие волны и волны однопроцентной обеспеченности образуются и распространяются до прибрежной зоны площадки АЭС, они рассеиваются и видоизменяются за счет изменения глубины, контакта с островами и сооружениями и других факторов, а также получают дополнительную энергию от ветра. Следует проводить оценку трансформации и распространения таких волн в прибрежную зону.

6.11. В частности, явления, имеющие отношение к такой оценке и которые следует учитывать, включают в себя трение, обмеление, рефракцию, дифракцию, отражение, разрушение и регенерацию.

ПРИБРЕЖНЫЕ ВОЛНЫ

6.12. Прибрежные волны, которые являются критическими при проектировании АЭС, следует определять путем сравнения зафиксированных данных о различных высотах имевших место глубоководных, переходной зоны и мелководных волн и граничных волн прибоя с учетом гидрографа стоячейводы в случае штормового нагона. При выборе проектных волновых условий следует рассматривать соответствующий диапазон уровней стоячейводы. В действительности, максимальный уровень воды и максимальная высота волны могут иметь место в разное время. Время прибытия волн является функцией от профиля ветра над областью образования волн, групповой скорости волн и скорости поступательного движения шторма. Поэтому, временную диаграмму предельных максимальных высот волны следует оценивать до разрушения волн за счет уменьшения глубины воды.

6.13. Для условий, полученных площадкой для прибрежной зоны, следует построить график, представляющий временные диаграммы основных параметров волн (высота и период) и максимальные уровни стоячейводы. Также, следует построить временную диаграмму предельной высоты прибоя. Следует подготовить среду проектирования в отношении высоты прибрежной волны, полученной из критических высот волны, выраженную функцией от времени. Эта среда проектирования должна быть ограничена временной диаграммой набегающей волны (глубоководной, переходной зоны и мелководной волны), но ни в коем случае она не должна превышать значащую высоту волны. Следует изучить потенциальные изменения в батиметрии за счет волновой активности, поскольку эти изменения оказывают влияние на волны.

6.14. Для проверки результатов анализа прибрежных волн следует использовать имеющиеся исторические данные о зафиксированных экстремальных волнах в данном регионе.

ЛОКАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВОЛН

6.15. Для каждого сооружения, системы или элемента важного для безопасности, который потенциально подвержен воздействию морских волн, характеристики расчетной волны следует оценивать, исходя из выбранных прибрежных волн с учетом распространения этих волн до основания сооружения. Такая оценка состоит из:

- (а) Выбора соответствующего спектра набегающих волн и его верхнего предела (высоты, периода и направления подхода волны), соответствующего различным моментам времени при приближении и прохождении шторма²⁹; для этой цели следует использовать подходящую двухмерную модель волны.
- (б) Оценки любого дополнительного повышения вычисленного уровня стоячейводы для штормового нагона от таких воздействий, как накат волны³⁰, волнение и локальное штормовое воздействие. Эти воздействия могут изменить характеристики расчетной прибрежной волны и привести к уровням затопления сооружений важных для безопасности. Дополнительный накат волны еще более увеличит высоту волны.
- (с) Оценку любых локальных изменений волн в результате непрерывного влияния последствий трансформации акваториальных волн и оценку локальных изменений волн за счет таких эффектов, как распространение волны, накат и перелив, включая разбрызгивание волн.

²⁹ При расчете максимальных периодов волны, как правило, используется значение значащего периода волны 1,2 раза для глубинной воды; для расчета минимального периода волны вполне уместно вводить ограничение крутизны волны на мелкой воде. Значащий период волны может быть принят приблизительно таким же, что и средний период волны. Пиковый период волн на мелкой воде может быть в два раза больше среднего периода.

³⁰ Накат волны – временное повышение уровня воды на берегу моря из-за волновой активности, которое добавляется к высоте нагона.

СИЛЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОЛНЫ

6.16. Здесь следует проводить оценку гидростатических и гидродинамических нагрузок на сооружения важные для безопасности. Следует определять характер и разрушающий механизм волн для условий данной площадки, а также весь диапазон ожидаемых высотных отметок воды с учетом типов сооружений и типа волнового воздействия. Следует рассчитывать как горизонтальные, так и вертикальные (подъемные) силы с помощью принятых методов. Если важные результаты, полученные аналитическими методами, вызывают сомнение, то следует проводить исследования с использованием физических моделей с целью определения этих сил. Поскольку возможно, что максимальные условия нагружения будут иметь место не в период максимального наводнения, а в другое время, условия нагружения следует определять для достаточно продолжительного периода времени затопления площадки с тем, чтобы обеспечить получение условий максимального нагружения.

6.17. Выбор расчетной волны для конструкционной стабильности зависит от того, будет ли сооружение подвергаться воздействию неразрушаемых, разрушаемых и разрушенных волн. В случае жестких конструкций, расчетная волна, в основном, основывается на высоте волны однопроцентной обеспеченности³¹. В случае полужестких конструкций значения расчетной волны должны находиться в диапазоне от волны однопроцентной обеспеченности до значащей волны, а в случае гибких конструкций – это может быть значащая волна. Тем не менее, незащищенные элементы важные для безопасности должны выполнять свои проектные функции во время наступления волны однопроцентной обеспеченности.

6.18. Силы от неразрушаемых волн по большей части гидростатические. Разрушенные и разрушаемые волны порождают дополнительные силы в результате динамического и ударного эффектов турбулентной воды и компрессии образовавшихся в ней воздушных карманов. Соответствующие методы следует использовать для оценки сил, возникающих за счет разрушаемых волн, в то время как силы в результате разрушенных волн представляют собой сочетание гидростатических и гидродинамических сил, которое можно оценивать посредством упрощенных подходов, сочетающих гидростатические и гидродинамические методы.

³¹ Высота волны однопроцентной обеспеченности – измеренная по срединной линии высота верхней однопроцентной части волны.

7. ЗАТОПЛЕНИЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ СЕЙШЕЙ

7.1. Сильные колебания водного объекта (сейши) могут иметь место в результате штормовых нагонов, изменений скорости ветра, цунами, оползней в воду, подводных извержений вулканов и прочих широковолновых возмущений (таких как локальные сейсмические смещения, которые могут вызвать экстремальные «всплески» всего бассейна). Колебания водного объекта также могут быть результатом непрерывного воздействия возбуждения либо на водяной столб на входе, либо на поверхность воды. Наиболее простым примером является череда длиннопериодных волн, достигающая прибрежного залива, включая колебания равного периода. Если частота входящих волн совпадает с режимом местных колебаний, то может иметь место резонансное усиление, ведущее к движениям большой амплитуды.

7.2. Режимы колебаний зависят исключительно от геометрии поверхности и батиметрии водного пространства, а амплитуда колебания будет зависеть от магнитуды возбуждающей силы и трения. Расчет режимов и амплитуд колебаний следует выполнять при условии, что нагнетательная сила определена надлежащим образом.

7.3. Если площадка расположена на берегу замкнутого или полузамкнутого водного пространства, то следует учитывать потенциал образования сейшей. В случае если существует потенциал образования сейшей, то следует оценивать максимальный вероятный сейш.

7.4. Если видно, что образование сейшей возможно за счет действия максимального вероятного штормового нагона на водном пространстве, то такой нагон следует использовать в качестве исходных данных для оценки максимального вероятного сейша.

7.5. Если возможность образования сейшей связана с воздействием ветра или барического поля на водное пространство, то следует определять значения максимального вероятного шторма с параметрами, которые являются максимальными для образования сейшей; при этом используется процедура, подобная процедурам, применяемым при оценке исходных данных для максимального вероятного штормового нагона.

7.6. Если возможность образования сейшей связана с оползнем или сейсмическим возбуждением, то следует установить обоснованный верхний

предел для оползня в воду или для сейсмического возбуждения; при этом применяются методы, представленные в [3].

7.7. Были разработаны числовые модели для расчета максимального вероятного сейша в форме амплитуды колебаний как функции от времени в любой точке побережья произвольной формы. Как правило, в качестве исходных данных для этих моделей требуется спецификация общей конфигурации (батиметрия и прибрежная топография) и волновой нагнетательной системы. Также, в качестве исходных данных для этих моделей необходима временная зависимость возбуждения (волна цунами, волна нагона, ветровая волна и т.п.) на открытой границе или в месте расположения источника. В таком случае следует рассчитать амплитуду временной диаграммы сейшей для месторасположения АЭС. Для валидации выбранной модели следует использовать результаты исследования гидравлической модели и/или полевых исследований.

7.8. Если имеется большое количество результатов исторических наблюдений за изменениями уровней воды в бассейне, то оценка максимального вероятного сейша должна основываться на результатах стохастической обработки данных. Стохастическая обработка данных может проводиться только тогда, когда имеются результаты таких наблюдений или измерений для территории, прилегающей к площадке станции, и если в этих данных адекватно представлены все воздействия, потенциал возникновения которых имеется в бассейне. Результаты стохастической оценки следует подтверждать упрощенным детерминистским методом.

8. НАВОДНЕНИЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

8.1. Наиболее часто наводнения являются следствием поверхностного стока дождевой воды или воды, образовавшейся при таянии снега и льда, или их сочетания, в направлении площадки. Поверхностные стоки образуются, когда объем воды от выпадающих или тающих атмосферных осадков в данный период времени превышает потери воды за счет испарения, просачивания, задержания (листьями деревьев, например), просачивания в почву и накопления во впадинах в земной поверхности.

8.2. Если существует потенциал наводнения за счет атмосферных осадков, то в качестве предварительных данных для определения риска затопления площадки следует рассчитывать следующие параметры стока и соответствующие переменные значения:

- 1) Сток паводка: пик стока паводка и временной ряд паводка всего события наводнения (гидрограф стока паводка).
- 2) Уровень воды: пик уровня воды и гидрограф уровня воды. Следует отметить, что в некоторых случаях пиковый уровень не совпадает по времени с пиковым стоком паводка (напр., если имеют место зажоры или заторы).
- 3) Изменения объема стока или уровня воды: гидрографы (если гидрографов не имеется, то следует проводить оценку максимальных изменений стока и уровня воды, как повышения, так и понижения).
- 4) Скорость: как правило, средняя скорость непосредственно выводится из данных о стоке и поперечных сечениях водотока. Тем не менее, во многих случаях для анализа динамических воздействий и оценки размыва и намыва необходимы оценки скоростей на конкретных участках поперечных сечений.
- 5) Устойчивость русла: последствия наводнений для формы и высотности дна и берегов русла, как во время, так и после наводнения.
- 6) Перенос отложений: взвешенные наносы и донные наносы.
- 7) Ледовые условия: шуга, донный и поверхностный лед, ледяные заторы.

ДЕТЕРМИНИСТСКИЙ МЕТОД

8.3. Если исторические данные по стокам для площадки не являются репрезентативными, то для оценки риска затопления в результате поверхностного стока предпочтительным подходом является детерминистский метод. При этом подходе риск затопления выводится на основании максимального проектного объема атмосферных осадков³² посредством детерминистского моделирования. Максимальный проектный объем атмосферных осадков оценивается исходя из риска атмосферных осадков,

³² Максимальный проектный объем атмосферных осадков - оцененная высота атмосферных осадков за данный период времени, на данной площади стока и в данное время года, для которой имеется конкретная вероятность превышения. Максимальное проектное наводнение данной продолжительности и при данной площади стока должно приближаться к и приблизительно равняться максимально физически возможному значению.

оцененного в соответствии с [4], после определения требуемой вероятности превышения. Условия, генерирующие поверхностный сток, оцениваются на основе результатов анализа метеорологических, гидрологических и физиографических характеристик бассейна. Для расчета риска наводнения применительно к максимальному проектному объему атмосферных осадков может применяться метод единичного гидрографа. Максимальный проектный объем атмосферных осадков и условия возникновения поверхностного стока не следует оценивать с помощью единичного метода; следует применять набор методов и процессов транспозиции, максимизации и оценки коэффициентов, при которых специалисты-метеорологи и гидрологи применяют совместную экспертную оценку³³. Для этой работы особенно важны мнения опытных экспертов с тем, чтобы свести неопределенности к приемлемому уровню.

8.4. Положение циклонов над бассейном следует выбирать таковым, чтобы имел место максимальный поверхностный сток (с точки зрения объема или пикового уровня воды, в зависимости от того, что является наиболее критичным).

8.5. В случае бассейнов, где таяние снега вносит значительный вклад в риск наводнения, особое внимание следует обращать на максимальное событие с сочетанием дождя и таяния снега. Для расчета максимально большого вклада таяния снега в наводнение в таком бассейне следует определить максимальное сезонное накопление снега и выбрать критическую последовательность таяния. Затем к максимальному объему таяния снега следует добавить максимальные проектные атмосферные осадки для рассматриваемого времени года; также, следует включать в расчет дополнительное таяние снега за счет атмосферных осадков (если это дождь).

³³ При составлении единичного гидрографа, как правило, используются как большие, так и малые территории. Применяются верхние пределы территорий, покрываемых гидрометрическими измерениями, в диапазоне от 1000 до 8000 км². В случае территорий, не покрываемых гидрометрическими измерениями, некоторые эксперты считают, что оправданными являются территории до 20000 км². Применение территорий размером, превышающим 20000 км², если не имеется гидрометрических данных, может быть обоснованным, поскольку погрешности такого способа не превысят погрешностей оценки единичных гидрографов подзон и маршрутизации стоков из подзон.

Отток воды

8.6. Отток воды, как правило, оценивается посредством сравнения прироста атмосферных осадков с объемом поверхностного стока зарегистрированных циклонов. Обычно отток выражается в виде первичных потерь, за которыми следует постоянный отток за некоторый период времени³⁴.

8.7. Эрозию и оседание почвы во время наводнения можно игнорировать. Тем не менее, в тех случаях, где тип дна русла указывает на то, что эрозия может привести к повышенной неровности, следует учитывать возможность образования повышенной неровности во время пика наводнения и непосредственно после него. Когда это уместно, следует учитывать изменения глубины и неровности в поперечном сечении и возможное наличие льда, полностью или частично покрывающего реку. Несплошные конструкции, такие как мосты, считаются сплошными преградами в случае наводнения и принимаются, где это уместно, как контрольные точки, если такие допущения являются консервативными.

8.8. Если постулируется два ливня подряд, то следует принимать допущение, что отток от второго ливня будет меньше вследствие повышенной влажности почвы. Во многих случаях отток игнорируется в зависимости от того, какой подход является наиболее консервативным.

Единичные гидрографы или другие модели дождевых поверхностных стоков

8.9. Единичный гидрограф представляет собой гидрограф поверхностного стока, являющийся результатом однородности единичного дождевого выпадения атмосферных осадков, распределенный по бассейну за единицу времени. Как правило, это может быть гидрограф, полученный при повышенном приросте дождевых осадков в 10 мм за один час. Прирост времени может быть снижен или увеличен в зависимости от размера площади стока. На практике единичный гидрограф может быть получен для неоднородных

³⁴ Например, типовым оттоком может быть первичный отток высотой 10 мм, за которым следует постоянный отток со скоростью 2 мм в час. Часто не целесообразно проводить детальные исследования оттока, поскольку его влияние на пики наводнения может быть незначительным. Если, к примеру, максимальный почасовой прирост максимального проектного объема атмосферных осадков составляет 150 мм, то влияние оттока в 2 мм в час на такое выпадение дождевых осадков является незначительным по сравнению с погрешностью, заложенной в другие параметры.

моделей дождевых осадков. В тех случаях, где вследствие орографических факторов имеют место неизменяемые, но неоднородные, модели, единичный гидрограф следует составлять для модели, которая является типичной для крупных ливней в этом бассейне.

8.10. Единичный гидрограф следует составлять на основе зарегистрированных гидрографов наводнения и связанных с ним объемом дождевых осадков.

8.11. Единичные гидрографы, составленные для небольших наводнений, могут не представлять собой реальных характеристик наводнения в бассейне, если они применяются в случае сильных ливней. Поэтому допущение линейности модели единичного гидрографа не всегда является правомерным, поскольку гидравлический КПД бассейна повышается при увеличении стока только до определенного предела, а также из-за того, что могут иметь место изменения в расходе русла в направлении от берега. Единичные гидрографы на основе наводнений, характеризующихся объемом атмосферных осадков примерно на одну треть или более превышающим максимальный уровень осадков, следует принимать, как составленные без поправок на нелинейность. Для наводнений меньшей величины разработаны методы поправки единичных гидрографов с учетом нелинейности; такие методы составления единичных гидрографов могут применяться только в тех случаях, где рассматриваются небольшие наводнения. Также, возможно оценить нелинейность посредством сравнения единичных гидрографов, полученных на основе наводнений различной величины.

Базовый сток воды

8.12. Следует проводить оценку амбиентного расхода воды в водотоке во время постулированного максимального проектного ливня. Базовый сток воды должен быть обоснованно репрезентативным для времени года и периода времени, когда может ожидаться референтный ливень, выбранный на основе максимального объема атмосферных осадков. При определении базового стока не требуется особых усилий с точки зрения получения высокой точности, поскольку он, как правило, представляет собой лишь незначительный процент от стока наводнения.

Маршрутизация наводнения

8.13. Следует определять маршрут наводнения. Это что заключается в определении характеристик данного наводнения в рассматриваемом месте,

когда известны характеристики наводнения в месте вверх по течению от рассматриваемого места.

8.14. Для этого следует использовать валидированную модель речного русла, по которому будет перемещаться наводнение. Методы маршрутизации наводнения обычно подразделяются на:

- гидрологические методы маршрутизации, в которых применяется только уравнение неразрывности (уравнения неразрывности при неустановившемся движении);
- гидравлические методы маршрутизации, которые дополнительно учитывают динамические эффекты.

8.15. Результатами применения этих методов являются значения потока. Модель для перевода этих значений в уровни воды должна основываться либо на установившемся, либо на неустановившемся потоке. В случае наводнений с относительно небольшой скоростью изменений потока или состояния, при маршрутизации при установившемся потоке будут получены, с достаточной точностью, приблизительные расходы через русло. Маршрутизацию при неустановившемся потоке следует применять, если изменения потока весьма значительны, поскольку при таком подходе одновременно подсчитывается временная последовательность как потока, так и повышение поверхности воды по всей длине потока.

8.16. Маршрутизация наводнения через водоем представляет собой отдельный случай маршрутизации русла и, как правило, при этом проводится аппроксимация методами установившегося потока. Если необходимо разделить водораздел на подзоны, то модели стока должны быть взаимосвязаны и скомбинированы с помощью моделей курса потока.

Уровень наводнения

8.17. При оценке уровня наводнения следует учитывать наличие сооружений в русле наводнения, которые могут вызывать явления подпора. Подпор можно рассчитывать с помощью аналитических или графических методов.

8.18. Максимальные скорости изменения расхода и уровня можно вывести непосредственно из гидрографа для максимальных расхода и уровня. Следует отметить, что периоды максимального увеличения или уменьшения расхода не всегда совпадают с соответствующими периодами максимального повышения или понижения уровня. Если эти параметры являются критическими для

проектирования таких сооружений важных для безопасности, как дамбы, то следует учитывать возможность того, что выпадение атмосферных осадков на небольшой площади подзон бассейна в водоразделе может привести к более высокой скорости повышения или снижения уровня.

Скорость потока воды

8.19. Наводнения могут оказывать влияние на безопасность не только посредством уровня воды, но также и скорости потока воды. Скорости потока воды можно непосредственно получить с помощью расчетов подпора и маршрута. Тем не менее, если для консервативной оценки уровня принимаются более высокие коэффициенты шероховатости, то следует и учитывать поправку на эти коэффициенты для получения консервативных значений скоростей и соответствующих уровней. В случае ситуаций, для которых сложно разработать математические модели, например, при русле реки сложной формы и скорости могут быть достаточно высоки, чтобы повредить сооружения важные для безопасности, такие как дамбы или насыпи, то следует строить модели оценки расчетных скоростей, специально предназначенные для таких случаев.

Оседание и эрозия почвы

8.20. Имеющиеся в настоящее время аналитические методы, даже подкрепленные измерениями, не могут дать достоверных оценок для оседания, эрозии почвы и соответствующих изменений морфологии русла во время и после экстремального наводнения. Если на средства безопасности станции оказывается воздействие за счет оседания или эрозии почвы, то следует разработать физико-гидравлическую модель для изучения этих явлений. В некоторых случаях может оказаться возможным проверить результаты с помощью математической модели. В пустынно-горных регионах следует учитывать возможность возникновения селей.

Мусор, бревна и ледовые условия

8.21. Прогнозировать последствия влияния плавающего материала в воде аналитическими методами очень трудно. Если оказывается воздействие на средства безопасности АЭС, то следует разработать физико-гидравлическую модель для изучения этих явлений.

8.22. В частности, ледяной затор может явиться следствием сгона локально образовавшего льда действием ветра, течений или поступления льда, образовавшегося в акватории моря, в устье или русло реки. В тех случаях, когда

предлагаемая площадка размещения АЭС находится на устье или русле реки, то следует проанализировать исторические данные с тем, чтобы сооружения и системы важные для безопасности не могли быть повреждены льдом (включая лед, образовавшийся в морской акватории) и для получения данных для оценки риска затопления. При оценке максимальных проектных условий следует рассматривать следующие сценарии:

- (а) подпор воды за счет ледяного покрова и ледяных заторов;
- (б) силы, действующие на плотины, водозаборные сооружения, шлюзы и аппаратуру управления, вызванные присутствием льда;
- (с) забивание льдом водозаборных сеток, насосов, арматуры и аппаратуры управления;
- (d) торосистость на замкнутых водных пространствах;
- (е) заторы из-за оползней льда и снега;
- (f) волны или сейши, вызванные оползнями льда и снега.

8.23. В дополнение к засорению водозаборов и влиянию на уровни паводка, лед может вызывать динамические и статические воздействия на сооружения. С целью установления потенциальной толщины льда, концентрации, интенсивности и продолжительности льдообразования, а также нормальной и экстремальной продолжительности ледового периода, следует изучать зарегистрированные данные. Эти данные используются для консервативной оценки максимальной вероятной толщины льда. Сооружения должны быть спроектированы таким образом, чтобы выдерживать максимальные вероятные ледовые нагрузки.

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МЕТОДЫ

8.24. Вероятностные (стохастические) методы могут подойти для определения риска наводнения при условии, что имеются достаточные и достоверные данные в отношении расхода на площадке или данные, полученные с гидрометрических станций на реке в бассейне площадки. В случаях, когда недостаточно данных о метеорологических переменных, а зарегистрированные гидрологические данные за значительные по продолжительности периоды времени имеются на площадке или нескольких гидрометрических станциях в регионе, то вместо детерминистских методов следует применять стохастические. Следует обосновывать консервативность применяемых методов.

9. НАВОДНЕНИЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВНЕЗАПНОГО ПОСТУПЛЕНИЯ ВОДЫ ИЗ ЕСТЕСТВЕННЫХ ИЛИ ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

9.1. Вверх по течению от площадки могут находиться крупные естественные или искусственные водоемы. Вода может удерживаться рукотворным сооружением таким, как плотина для производства электроэнергии, ирригации или других целей, или за счет временных естественных причин, таких как ледяной затор или мусор, который является препятствием в русле реки.

9.2. Нарушение таких водозадерживающих сооружений (максимальное вероятное разрушение плотины) по гидрологическим, сейсмическим или другим причинам, таким как оползень в водохранилище или ухудшение свойств плотины со временем, может привести к затоплению территории площадки.

9.3. Гидрологическое нарушение естественного или искусственного водохранилища имеет место из-за недостаточного водослива по сравнению с объемом поступления речной воды в водохранилище либо из-за нарушения в работе, либо из-за того, что приток воды превышает расчетные значения. Это приводит к повышению уровня воды и возможному переливу через плотину. В случае земляной насыпной или каменнонабросной плотины, перелив может привести к разрушению плотины.

9.4. Основным и наиболее важным различием между наводнением из-за атмосферных осадков и наводнением в результате разрушения гидротехнического сооружения, естественного или искусственного, является то, что в последнем случае может иметь место волна большой высоты, перемещающаяся с большой скоростью вниз по течению. Поэтому, на площадку и построенные на ней сооружения может быть оказано сильное динамическое воздействие; следовательно, необходимо проводить соответствующую оценку площадки.

9.5. На этапе выбора площадки следует рассматривать на предмет возможного разрушения или отказа все существующие или планируемые к строительству плотины, расположенные вверх по течению. Некоторые из них можно исключить из рассмотрения из-за их небольшого объема, расстояния от площадки или дифференциального напора, или естественной или

искусственной способности к удержанию воды³⁵. Как указано выше (п. 8.3), следует проводить исследование территории стока вверх по течению от площадки с тем, чтобы определить, на каких участках возможно образование естественных преград в русле реки, с учетом того, что такие рукотворные сооружения, как горные отвалы, обваловка автодорог вдоль долины реки или низкие мосты могут действовать как плотины во время паводков.

9.6. Плотины, расположенные на притоках ниже по течению от площадки, следует учитывать, если при их разрушении может увеличиться риск затопления площадки.

9.7. Не следует принимать никакого снижения уровня наводнения на площадке при разрушении плотины, расположенной ниже по течению, если не продемонстрировано, что плотина определенно разрушится.

РАЗРУШЕНИЕ ПЛОТИНЫ ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ ПРИЧИНАМ

9.8. Следует постулировать разрушение плотины, если инженерными расчетами можно продемонстрировать с требуемой вероятностью превышения, что плотина не разрушится.

9.9. Плотины, при разрушении которых может наступить референтный паводок на площадке, следует оценивать на возможность разрушения с точки зрения двух гипотез:

- 1) Изогеты максимальных проектных атмосферных осадков критически сконцентрированы на бассейне вверх по течению от плотины.
- 2) Изогеты максимальных проектных атмосферных осадков критически сконцентрированы на бассейне непосредственно над площадкой.

В обоих случаях изогеты максимальных проектных атмосферных осадков следует выбирать такими, при которых наступает максимальное наводнение: в первом случае на плотине, а во втором – на площадке.

³⁵ В некоторых государствах-членах принято систематически рассматривают обрушение каждой крупной плотины вверх по течению от станции, выбирают наиболее критическую для уровня площадки и оценивают волну, образующуюся при разрушении этой плотины в привязке к разрушению всех плотин, расположенных вниз по течению до станции.

9.10. Поскольку, как правило, очень трудно и дорого с точки зрения средств и времени определить и продемонстрировать, количественно, безопасность и устойчивость плотины (конструкционную, гидрологическую или наоборот), то может оказаться более эффективным провести простой консервативный анализ при допущении обрушения плотины; если результаты этого консервативного анализа не показывают значительного воздействия на площадку, то более подробного анализа не требуется.

9.11. Если можно продемонстрировать, что плотина устоит при наводнении в соответствии с гипотезой (1), то дополнительного анализа проводить не требуется, за исключением анализа разрушения плотин, расположенных вверх по течению. Если водораздел, контролируемый плотиной, расположенной вверх по течению, представляет собой большую часть всего водораздела площадки, то параметры максимальных проектных атмосферных осадков, используемых для расчета объема стока вниз после плотины, следует выводить из внешних изогет модели максимальных проектных атмосферных осадков или продленных изобат и/или кривых площади, используемых для оценки устойчивости плотины. Если по результатам считается, что плотина, расположенная вверх по течению, разрушится под действием собственного водораздела, то такое разрушение следует также оценить на предмет риска затопления применительно ко всему водоразделу площадки (гипотеза (2)). Если плотина разрушится в любом из случаев, то образовавшаяся при этом волна паводка должна направляться вниз по течению к площадке с целью сравнения и выбора критического случая.

9.12. И наоборот, плотина, с которой ничего не случится в случае события, связанного с максимальными проектными осадками, может разрушиться в результате такого наводнения волной, образовавшейся в результате разрушения плотины вверх по течению по гидрологическим причинам. Следует провести анализ целостности всех плотин на траектории до площадки, и если не будет продемонстрировано, что плотина не разрушится, то следует постулировать разрушение. Направление движения наводнения в результате всех предполагаемых разрушений плотин следует прокладывать к площадке. Если несколько плотин расположены на различных притоках, то следует учитывать физическую возможность и, где это уместно, вероятность и последствия одновременного подхода волн наводнения к площадке.

9.13. Признается, что наводнения в результате разрушения плотины могут увеличиваться за счет волн, вызванных оползнями в реки и водоемы, в результате сильных атмосферных осадков. Как правило, наводнения, вызванные разрушением плотин, следует рассматривать в сочетании с

соответствующим наводнением в результате других причин (см. ниже) с тем, чтобы получить значение референтного наводнения. На уже полученный уровень стоячей воды наводнения следует накладывать действие соответствующей совпадающей с ним по времени образованной ветром волны (накат и нагон).

Постулирование разрушения

9.14. Если нельзя продемонстрировать, что плотина не разрушится в результате наводнения, то посредством консервативной оценки, основанной, насколько это возможно, на результатах анализа устойчивости, следует постулировать режим и масштаб разрушения. При постулировании режима разрушения следует принимать во внимание тип конструкции плотины и топографию русла реки непосредственно вниз по течению от плотины.

9.15. Бетонные гравитационные плотины следует анализировать на предмет опрокидывания и сползания; решение относительно режима и масштаба вероятного разрушения следует делать с учетом наиболее критических положений и количеств элементов внизу по течению. По результатам этого анализа, при применении их к постулируемому разрушенному элементу, будет возможно оценить с обоснованной точностью направление движения воды и взаимосвязь между вероятным подъемом уровня и расходом.

9.16. Разрушение арочной плотины, скорее всего, происходит практически мгновенно и при полном ее разрушении. Соответственно, если не было продемонстрировано, что плотина устоит, то следует постулировать мгновенное и полное разрушение плотины арочного типа без значительного накопления фрагментов разрушения вниз по течению.

9.17. В случае земляных насыпных или каменнонабросных плотин процесс их разрушения занимает больше времени, чем в случае с бетонными плотинами. Время до полного разрушения сооружения может составить от нескольких минут до нескольких часов. Процесс разрушения каменнонабросной плотины может занять значительно больший период времени, чем в случае земляной насыпной плотины. При расчетах эрозии для определения периода времени и скорости разрушения следует постулировать первоначально поврежденную секцию или проем плотины. При расчетах также следует получить значение гидрографа оттока.

9.18. Когда невозможно определить непренебрежимый период времени обрушения земляной насыпной плотины, то следует постулировать моментальное и полное разрушение.

Гидрограф оттока при разрушении плотины

9.19. Гидрограф оттока в случае частичного разрушения не земляной плотины зависит от масштаба и режима разрушения, взаимоотношения верхней воды и стока, а также геометрии и размеров водоема. Для маршрутизации потока нагона вниз по течению в результате разрешения плотины подходят методы неустановившегося потока, которые и следует применять. Однако если расстояния являются значительными и если возможно продемонстрировать, что промежуточное русло или водохранилище смогут адекватно ослабить мощность нагона, то в модели можно применять менее сложную геометрию водохранилища и маршрутизацию наводнения.

РАЗРУШЕНИЕ ПЛОТИНЫ ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ПРИЧИНАМ

9.20. Наводнение может явиться следствием разрушения плотин (вверх или вниз по течению) в результате сейсмических событий или их последствий таких, как оползень в водохранилище. Могут иметь место разрушения как искусственных, так и естественных водоподъемных сооружений.

9.21. Для любой предлагаемой площадки размещения следует проводить оценку потенциальных последствий в результате сейсмически обусловленного разрушения любой из плотин, расположенных вверх по течению, которое может повлиять на затопление площадки [1]. Если в ходе оценки обнаруживается, что будут иметь место потенциально неприемлемые последствия, то следует проводить оценку потенциала разрушения плотины.

9.22. При анализе сейсмостойкости плотин требуется учитывать динамические нагрузки. Более того, при подробном анализе устойчивости требуется представление надлежащей документации о состоянии сооружения. При анализе устойчивости следует использовать акты проверок, проведенных соответствующими техническими надзорными органами. Дополнительные данные должны включать в себя результаты испытаний на прочность секций фундамента плотины, натурные обследования и проверки, проведенные другими органами, а также имеющие отношение к делу данные, собранные посредством измерений на площадке плотины.

9.23. Для анализа сейсмостойкости каждой плотины следует определить соответствующее землетрясение (см. [2]), особенно, применительно к площадке плотины или зоны оползня.

9.24. Также, следует принимать во внимание возможность разрушения двух или более плотин в результате одного и того же сейсмического события. Если существует возможность возникновения разрушения по общей причине, то следует учитывать одновременное наступление пиковых паводков, если не продемонстрировано, что время перемещения пиковых паводков значительно отличается от времени одновременного наступления

Постулирование разрушения

9.25. Большая часть процедур, приведенных в предыдущем подразделе, могут применяться и к разрушениям, вызванным сейсмическими событиями. Тем не менее, в моделях разрушения для разрушения гидрологической плотины допускается, что вода переливается через плотину, в то время как в случае разрушения в результате сейсмического события это не всегда происходит. Режим и масштаб разрушения следует постулировать с использованием консервативного суждения на основе результатов устойчивости, в наиболее возможной степени.

9.26. Сейсмическое воздействие на приплотинные сооружения следует анализировать с точки зрения форсированного уровня водоема и являющейся следствием этого нестабильность плотины или ее прорыва при переполнении. Внезапный отказ шлюзов под воздействием сейсмического события также следует постулировать с точки зрения последующей волны паводка ниже по течению.

9.27. При подробном анализе силы, которые обычно учитываются при проектировании плотины, следует учитывать как нагрузки для анализа устойчивости плотины в дополнение к динамическим составляющим сил землетрясения. Такими силами могут быть:

- нагрузка;
- внешнее водяное давление;
- противодавление (внутреннее водяное давление);
- давление почвы и ила;
- воздействие льда в водоеме;
- плавающие предметы (в отличие от льда);
- ветровое давление;

- давление ниже атмосферного;
- волновое давление;
- реакция оснований.

Если постулируется разрушение, то маршрут образовавшегося наводнения можно прокладывать с помощью методов, изложенных в предыдущем подразделе.

РАЗРУШЕНИЕ ПЛОТИН В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРИЧИН, НЕ ОТНОСЯЩИХСЯ К ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ ИЛИ СЕЙСМИЧЕСКИМ

9.28. Водозадерживающие сооружения могут разрушиться вследствие последовательности причин, отличающихся от причин, представленных в предыдущих подразделах, например:

- ухудшение свойств бетона или насыпи;
- сильная или неравномерная осадка с последующим растрескиванием;
- суффозия и просачивание;
- дефекты оснований;
- протечка через основания, кромку насыпи или водотоки («сквозные каналы») в результате воздействия корней растений или роющие животные;
- функциональные отказы, такие как отказы шлюзов;
- накопление ила или мусора на напорной грани плотины;
- оползень в водоем.

9.29. Как правило, эти объектовые причины могут быть следствием постепенных изменений в плотине, под ней или рядом с ней. Следует проводить надлежащий контроль и мониторинг для выявления этих постепенных изменений на достаточно ранней стадии, чтобы принять адекватные корректирующие меры. В качестве важной меры защиты от возможного оползня, вызванного наводнением, на площадке, следует проводить обследования грунта вдоль склонов местности вокруг водоемов с целью определения потенциала образования оползней, которые могут непосредственно оказать негативное воздействие на водоемы.

ОТКАЗ ПЛОТИН

9.30. Отказ плотин может приводить к наводнениям, которые иногда превышают по характеристикам наводнения, возникающие в результате причин естественного происхождения. В этой связи следует проводить обследования плотин, расположенных вверх по течению, особенно плотин со шлюзами для регулирования крупных стоков, с тем, чтобы оценить величину возможного объема сброса воды и исследовать их на предмет возможного сбоя в работе. При таком исследовании следует выявлять возможность сбоя в работе или аномального функционирования в результате чрезвычайных ситуаций, ошибки персонала, нештатного функционирования автоматизированных систем и ошибочной информации или ошибочной интерпретации информации об объеме воды, поступающей в водоем. Следует учитывать возможность одновременного отказа двух и более плотин, если имеется обоснованная вероятность того, что эти причины отказа могут совпасть или иметь место в течение короткого периода времени на этих плотинах.

10. НАВОДНЕНИЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ДРУГИХ ПРИЧИН ЕСТЕСТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

10.1. Если существует потенциал наступления условий наводнения, вызываемых приведенными ниже явлениями, или на которые такие явления оказывают влияние, то следует проводить исследование и учитывать влияние на безопасность с помощью одного из методов, изложенных в предыдущих разделах:

- явления, связанные с ледовыми условиями (подпор вверх по течению);
- оползни или лавины в водоемы;
- заторы из бревен или плавающего мусора (подпор вверх по течению);
- вулканизм.

ИЗМЕНЕНИЯ В ЕСТЕСТВЕННОМ РУСЛЕ

10.2. Время от времени русла рек могут менять конфигурацию или трассу в результате процессов естественного происхождения. Если существует потенциал для наступления таких явлений, то следует исследовать влияние на условия наводнения и учитывать любые возможные последствия для безопасности.

ДОЖДЕВЫЕ ОСАДКИ НЕПОСРЕДСТВЕННО НА ПЛОЩАДКЕ

10.3. Выпадение атмосферных осадков непосредственно на площадке следует исследовать в качестве потенциальной причины наибольшей дренажной нагрузки на площадке, а их влияние следует учитывать в проекте дренажной системы площадки. Дренажная система площадки должна быть спроектирована на такие объемы атмосферных осадков, чтобы дождевые осадки (в сочетании со снегом или градом, если необходимо) не приводили к запруживанию, переполнению дренажных каналов или водоводов, или затоплению в результате других причин. Подробно оценка риска в таких случаях представлена в [4].

10.4. При проектировании дренажной системы следует учитывать тот факт, что такая дренажная нагрузка может иметь место одновременно с условиями наступления паводка. К тому же, следует проанализировать воздействие выпадения локальных атмосферных осадков на кровли зданий важных для безопасности. Стоки кровель, как правило, рассчитаны на отвод ливневых осадков, интенсивность, которых значительно меньше, чем максимальный проектный объем атмосферных осадков в бассейне. Поскольку кровельные ливневые стоки могут оказаться засоренными снегом, льдом, листьями или мусором, то в случае зданий с парапетным ограждением кровель вода (или вода в сочетании со снегом и льдом) может скапливаться в таких объемах, что будет превышена проектная нагрузка на кровлю. Для решения этой проблемы могут использоваться несколько методов, которые включают в себя удаление парапетных ограждений с одной или более сторон здания, ограничение высоты парапетов с тем, чтобы обеспечить переток скапливающейся воды, обустройство шпигатов в парапете и подогрев кровли для предотвращения накопления избыточных количеств снега и льда.

СМЕРЧИ

10.5. В некоторых регионах мира, особенно в тропиках, смерчи могут перемещать большие объемы воды из близлежащих водоемов на материковую часть. Такие события, как правило, имеют небольшую продолжительность и охватывают относительно небольшие площади [4]. Если имеется историческая информация о смерчах в данном регионе, то при проектировании дренажной системы следует учитывать связанные с ними объемы атмосферных осадков.

11. НАВОДНЕНИЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЦУНАМИ

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

11.1. Цунами представляет собой череду распространяющихся в воде волн, образованную импульсными возбуждениями водной поверхности, возникшими в результате не метеорологических, а геофизических явлений, таких как подводные землетрясения, извержения вулканов, подводные оползни и оползни с поверхности суши, а также падение льда в водное пространство. Сила воздействия волн на АЭС будет зависеть от характеристик движения морского дна, места расположения станции (находится ли она рядом с фьордом или заливом) и направления движения по отношению к станции, а также реакции прибрежных вод на волны цунами. В зависимости от места расположения, площадка может подвергнуться действию цунами разрушительной силы.

11.2. События, в результате которых образуются цунами, и исходные связи этих событий с водой зафиксированы документально в недостаточной степени и поэтому все еще необходимо проводить большую научно-исследовательскую работу. Следовательно, необходимо отдавать предпочтение площадкам, которые в меньшей степени подвержены воздействию цунами. Тем не менее, если планируется разместить АЭС в регионе, который может подвергнуться действию цунами, то следует проводить консервативный анализ потенциальных последствий воздействия цунами, а станция должна быть спроектирована на максимальное проектное наводнение с учетом максимальной вероятной цунами. Оценка максимальной вероятной цунами должна быть достаточно консервативной по своему характеру для обеспечения того, что АЭС будет адекватно защищена от всех потенциальных последствий цунами.

ЦУНАМИ, ВЫЗВАННЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ

11.3. Волна цунами называется локальной цунами, если оказывает воздействие на регион рядом с источником ее образования, в котором волна, распространяющаяся в воде, образуется при вертикальной деформации морского дна. Локальная волна цунами состоит из многих компонентов различного периода колебаний, отражающих характеристики ее исходного профиля. Доминантный период волны, как правило, находится в диапазоне от 3 до 30 минут. Подобная волна цунами, достигающая удаленных мест после прохождения через океан, называется удаленная цунами. Во время прохождения волны, ее компоненты с коротким периодом серии волн рассеиваются островами и подводными горами. Доминантный период волны удаленной цунами, как правило, превышает 30 минут.

11.4. В случае, когда цунами образуется на континентальном шельфе или вблизи него, она будет состоять из многих компонентов различной частоты. Для локальной цунами доминантный период волны составит от 3 до 20 минут. Для удаленной цунами доминантный период волны, как правило, превышает 30 минут из-за того, что компоненты серии волн с более короткими периодами гасятся во время прохождения на большие расстояния в океане.

11.5. Возможность наступления событий, ведущих к образованию цунами (как удаленных, так и локальных), следует определять с использованием результатов геологических, тектонических и сейсмических исследований, а также посредством анализа исторических данных. Если такая возможность существует, то следует определять максимальную вероятную цунами, образованную при наихудшем сценарии развития либо конкретной удаленной геосейсмической активности, либо локальной геосейсмической активности. Анализ последствий максимальной вероятной цунами для АЭС следует проводить на основе оценки движений воды, которые могут иметь место в результате постулированных смещений морского дна. Полученные в результате этого системы серий волн или движений воды следует оценивать на предмет определения последствий их воздействия на прибрежную или акваториальную зоны. При определении нагона и оттока на береговой линии в результате цунами следует учитывать топографию акватории и прибрежной зоны.

11.6. При наличии исторической информации, такой как зарегистрированные уровни наката, гидрографические данные о приливах и отчеты об имевших место цунами, то такую информацию следует использовать для оценки достоверности методов вычисления, применяемых для определения последствий цунами для прибрежных зон. Обоснование аналитических

методов, предлагаемых для определения максимальной вероятной цунами, должно быть в наиболее возможной степени подкреплено доказательствами удовлетворительного согласования данных, полученных в результате наблюдений, но в любом случае, следует продемонстрировать, что результаты являются консервативными.

11.7. Самым простым способом оценки исходного профиля цунами, возникшей в результате подводного землетрясения, является допущение, что данное смещение морского дна – это результат тектонического смещения в полубесконечном упругом однородном теле. Тектоническое смещение характеризуется его месторасположением, включая глубину, геометрическими характеристиками (протяженность, углы падения и смещения плоскости разлома), физическими характеристиками (длина, ширина и смещение плоскости разлома), а также динамическими характеристиками (направление разрыва, скорость образования разрыва и время нарастания движения разлома). Статическое смещение морского дна следует рассчитывать с использованием этих параметров тектонического нарушения (за исключением динамических характеристик). Следовательно, риск наступления цунами следует оценивать с помощью методов, подобных методам, представленным для оценки сейсмических рисков в [2]. Следует постулировать, что землетрясение может иметь место вдоль потенциальных «цунамигенных» тектонических структур и в сеймотектонической области, где оно может привести к цунами с наихудшими последствиями для площадки. Для адекватного определения вертикального смещения морского дна и последующего подъема уровня поверхности воды необходима следующая информация:

- магнитуда землетрясения;
- максимальное вертикальное смещение почвы;
- длина и ширина источника;
- ориентация и форма источника;
- длина разрыва и местонахождение эпицентра;
- затухание смещения с увеличением расстояния от разлома.

11.8. Некоторые из этих данных можно получить из результатов исследований, проведенных с целью оценки сейсмической опасности, как представлено в [2]. Консервативно эти данные следует определять с использованием результатов геологических, тектонических и сейсмических исследований одновременно с анализом архивных записей.

11.9. Определение соответствующего повышения уровня водной поверхности в результате поднятия морского дна следует проводить на втором этапе оценки

риска цунами. Широко принятой успешной практикой является постулирование величины исходного повышения уровня поверхности моря равной величине статического вертикального смещения морского дна, полученной в результате расчетов при допущении однородных смещений плоскости тектонического нарушения. Применение любых других, более всеобъемлющих методов, которые включают в себя учет неравномерностей тектонических смещений, а также динамическое возбуждение цунами, следует обосновывать.

ЦУНАМИ НЕСЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

11.10. Оползни, падения льда, подводные оползни и извержения вулканов являются вторичными причинами образования цунами, некоторые из которых еще более разрушительны, чем цунами, вызванные землетрясением. Поскольку волна цунами образуется при движении массы оползня в воду, следует определять объем и динамику оползня, а именно продолжительность по времени и скорость и/или степень сброса, с тем, чтобы оценить цунами, возникшую в результате оползня. При условии, что в численную модель заложена информация о движении массы и граничных условиях, можно смоделировать образование и распространение цунами. В случае цунами вулканического происхождения следует учитывать три механизма образования. Первый механизм – это воздействие падающего грунта после выброса в воздух. Второй – подводный взрыв пара, который ведет к быстрому повышению уровня поверхности воды. Третий – образование кальдеры, что приводит к резкому поступлению окружающей воды в полость, созданную кальдерой.

УДАЛЕННЫЕ ЦУНАМИ

11.11. Во многих случаях распространение системы волн, являющейся результатом удаленно возникшей цунами, можно рассматривать упрощенно. Волны цунами с коротким периодом намного легче гасятся за счет трения и рассеивания; поэтому, только бегущие волны с большим периодом следует рассматривать применительно к прибрежной морской площадке, находящейся на большом удалении от источника возникновения цунами.

11.12. Поскольку длина волны цунами намного больше глубины воды, цунами образует систему протяженных линейных волн. С момента образования в глубоководной части до прохождения по океану, удаленную цунами можно моделировать с помощью линейных уравнений для длинных волн с

добавлением силы Кориолиса, описываемых в широтно-долготной системе координат.

11.13. В исходный профиль цунами входит много составляющих различных периодов, которые распространяются с различной скоростью. Это различие в скорости, хотя и небольшое, приводит к деформациям профиля волны, которыми нельзя пренебречь, если время прохождения становится длительным, как в случае удаленной цунами. Для оценки того, следует ли включать эти эффекты дисперсии, зависящие от частоты, или нет, используется параметр Pa :

$$Pa = (6h/R)1/3(a/h),$$

где

h – глубина воды;

a – горизонтальное измерение источника цунами;

R – расстояние от источника до площадки рассматриваемой АЭС.

Если Pa больше 4, то можно использовать линейные уравнения для длинных волн с учетом силы Кориолиса, описанные в широтно-долготной системе координат. Если Pa меньше 4, то не следует пренебрегать эффектами дисперсии, зависящими от частоты. При таком условии следует применять выраженное линейно уравнение Буссинеска, которое включает в себя эффект дисперсии первого порядка с частотой и которое внесены изменения для включения силы Кориолиса, описанной в широтно-долготной системе координат.

ЛОКАЛЬНЫЕ ЦУНАМИ

11.14. Если существует возможность возникновения локальных цунами, то следует проводить оценку системы волн и распространения локальных волн. Определение системы волн и распространение локальной цунами нельзя упрощать подобно случаю удаленных цунами. Аппроксимация длинной волны не подходит, т.к. вблизи источника цунами важность представляют волны с коротким периодом. Следует осмотнительно и тщательно рассматривать любые упрощающие допущения при оценке локальных цунами; такие допущения следует использовать, только если можно продемонстрировать, что они дадут консервативные результаты.

11.15. Если глубина воды превышает 200 м, то следует применять линейное уравнение длинной волны. В случае региона, где глубина менее 200 м, следует применять теорию отмели с членом, описывающим донное трение. Эта теория

отмели включает в себя приближение первого порядка дисперсии, зависящей от амплитуды. При особых условиях следует включать член, описывающий дисперсию, зависящую от амплитуды. Если целью моделирования является определение высоты нагона, то нет необходимости в использовании уравнений аппроксимации более высокого порядка.

11.16. Локальные волны цунами могут распространяться от источника образования до прибрежной зоны площадки АЭС, следовательно, в данной связи представляют важность явления, связанные с распространением волны (рефракция, отражение, убывание и дифракция). Для определения изменений волн во время их распространения следует применять численные методы. Очень важное влияние на результаты расчетов будет оказывать точная информация о топографии морского дна.

ИЗМЕНЕНИЯ ВБЛИЗИ ПОБЕРЕЖЬЯ

11.17. По мере приближения цунами к побережью ее высота увеличивается и становится сравнимой с глубиной воды («мелкая вода», см. сноску 27). Здесь следует применять уравнения для мелкой воды, включая эффект донного трения. Эта теория также допускает наличие гидростатического давления, но учитывает конечность амплитуды волны. Фазовая скорость второго порядка включает в себя эффект подъема поверхности воды. При таком эффекте самая высокая часть волны движется быстрее. Таким образом, фронтальный склон волны становится более пологим. Если скорость частиц воды во фронтальной части превышает локальную фазовую скорость, то вода выбрасывается в воздух, вследствие чего образуется приливной вал.

11.18. Цунами могут вызывать значительные колебания водного объекта (сейши). Если частота входящей цунами совпадает с одним из местных режимов колебаний, то может иметь место резонансное усиление, ведущее к более сильным подвижкам воды. Колебания водного объекта могут также возникать за счет непрерывного применения возбуждения либо к водяному столбу на входе, либо над поверхностью воды. Поэтому максимальная высота волн часто наблюдается не при наступлении первой волны, а после нескольких волн. Для оценки возможности наступления таких колебаний должны быть известны период цунами и частота локальных типов колебаний.

11.19. По мере достижения волнами цунами береговой линии или рассматриваемых прибрежных объектов, волны уменьшаются, становятся более пологи и, возможно, разрушаются. Разрушается ли волна или нет,

отражение, рассеивание или передача забирают энергию каждой волны. Первичным результатом воздействия волн цунами на берег является накат, который представляет собой вертикальную высоту над уровнем стоячей воды, достигаемую катастрофическим повышением уровня воды. Эта высота будет зависеть от геометрии и неровности сооружения или берега, глубины воды и пологости волны, идущей фронтом на сооружение или берег, а также от характеристик падающей волны. Существует несколько теорий приближения и эмпирических взаимодействий, с помощью которых можно вычислить накат, если даны характеристики волны в акватории. Необходимо следить за тем, чтобы выбранный метод применялся в пределах его достоверности с точки зрения характеристик акваториальных волн и наклона берега.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

11.20. Цунами начинается со сложным исходным профилем, трансформируется под влиянием воздействий сложной топографии дна и накатывается на и откатывается с суши сложной топографии. Для обеспечения стабильных расчетов и точных результатов следует применять специально разработанное программное обеспечение для валидации.

ОСАЖДЕНИЕ

11.21. Поскольку донный сдвиг в результате сильного течения цунами может быть значительным на мелкой воде, отложение и эрозия значительных объемов песка может оказать отрицательное воздействие на средства безопасности станции. Эрозия может вызывать разрушение волноломов и может повредить АЭС, расположенную в удалении от берега или в гавани. В частности, отложение песка вокруг сооружений охлаждающей воды или водозабора и водосброса может нарушить нормальную эксплуатацию станции. Следует проводить специальный анализ такого воздействия посредством измерения характеристик песка вблизи станции и с использованием проверенных математических моделей.

11.22. При оценке сил воздействия на сооружения волн цунами следует учитывать три формы волн цунами:

- (а) неразрушающиеся волны (цунами наступает, как быстро поднимающийся прилив);

- (b) волны, разрушающиеся далеко от береговой линии (волны цунами становятся полностью сформировавшимися борами до того, как достигнут береговой линии);
- (c) волны, разрушающиеся вблизи береговой линии (волны цунами действуют как полностью сформировавшиеся боры, неодинаковые по высоте).

При оценке сил волны в случаях а)-с) следует учитывать давление на сооружения от динамических волн, а также и от статических волн.

12. СОЧЕТАНИЯ СОБЫТИЙ

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

12.1. При определении максимального проектного наводнения для АЭС, следует рассматривать сочетания событий, а также единичные события. Сочетания событий следует тщательно анализировать с учетом стохастического и нелинейного характера явления. Более того, также следует принимать во внимание окружающие условия, имеющие отношение к значимому наводнению, вызывающему событие, или каждому событию в выбранном сочетании.

ИСХОДНЫЕ И ОКРУЖАЮЩИЕ УСЛОВИЯ

12.2. При оценке событий, вызывающих наводнение, следует рассматривать следующие окружающие условия:

- (a) Влажность грунта: медианный уровень влажности грунта для предполагаемого месяца наступления наводнения (значение, которое будет использоваться при начале предшествующего циклона).
- (b) Базисный объем стока: средний объем стока для предполагаемого месяца наступления паводка (значение, которое будет использоваться при начале предшествующего циклона).
- (c) Уровень водоема: уровни водоема следует принимать как значения верхней точки кривой, данной в эксплуатационных инструкциях для наступления первого из событий, вызывающих наводнение.

- (d) Уровень устья за барьером штормового нагона.
- (e) Наличие остаточных объемов воды на территориях, подверженных паводку.

12.3. В некоторых случаях, таких как бассейны очень небольшого размера, может не потребоваться делать допущение на предыдущий циклон, потому что гидрограф достигнет базисного объема стока в период времени, предшествующий циклону. В таких случаях консервативно принятый базисный объем стока и уровень влажности грунта следует использовать вместо допущения на предшествующий циклон. Более консервативным подходом является использование значений предшествующего циклона вместе со значениями медианного уровня влажности грунта и средним базисным объемом стока в качестве исходных условий.

СОЧЕТАНИЕ СОБЫТИЙ

12.4. Для оценки сочетаний событий, связанных с наводнением на площадках, расположенных на морском побережье, в устьях и берегах рек, следует различать:

- (a) экстремальные события (такие как штормовые нагоны, разливы рек, сейши и цунами);
- (b) ветровые волны, связанные или не связанные с экстремальными событиями;
- (c) контрольные уровни воды (включая приливы, если имеют большое значение).

12.5. Следует принимать во внимание сочетания экстремальных событий, в которых участвуют ветровые волны и контрольные уровни воды. Следует оценивать диапазон вероятности наступления каждого сочетания.

Критерии выбора сочетаний событий

12.6. Максимальное проектное наводнение для данной площадки может иметь место не в результате наступления одного экстремального события, а при одновременном наступлении более одного тяжелого события, каждое из которых, само по себе, является менее тяжелым, чем экстремальное. Взаимозависимость или независимость явлений, ведущих к наводнению, следует исследовать, исходя из специфических особенностей площадки. Во многих сочетаниях событий, ведущих к наводнению, различие между

зависимыми и независимыми событиями невелико. Последовательно наступающие метеорологические события, например, лишь отчасти зависят друг от друга или являются полностью независимыми. Напротив, сейсмические и ветровые события часто являются взаимозависимыми.

12.7. В настоящее время не имеется методики точной оценки численных вероятностей того, что данный уровень тяжести воздействия превышен для каждого отдельного события или сочетания событий. Тем не менее, следует оценивать консервативные значения для следующих величин:

- (a) вероятность того, что данный уровень тяжести воздействия превышен для каждого отдельного события;
- (b) вероятность того, что отдельные тяжелые события могут наступить вместе в сочетании событий.

Обоснованные значения вероятностей того, что определенный уровень тяжести воздействия будет превышен в сочетании событий, следует оценивать, исходя из значений этих величин. Таким образом, следует определять сочетания событий, вызывающих наводнения, от которых должна быть защищена АЭС. При этом следует обращать внимание на оценку продолжительности инцидента высокого уровня тяжести для каждого события.

12.8. В случае независимых событий, вероятность того, что они наступят в таких сочетаниях, что их влияние будет иметь кумулятивный эффект, связана с продолжительностью воздействия высокого уровня тяжести каждого события. Следует учитывать, что вероятность того, что события происходят в сочетании, меньше, чем произведение вероятности каждого события на воздействие событий, происходящих в одно и то же время (см. пример Б Приложения).

12.9. Чем больше число независимых или зависимых событий, рассматриваемых в сочетании, и чем больше магнитуа каждого события, тем меньше будет комплексная вероятность их наступления. Расчет защиты АЭС с учетом чрезмерной тяжести событий в сочетании может привести к чрезмерно консервативным значениям максимального проектного наводнения.

12.10. Комбинируемые события следует выбирать соответствующим образом, учитывая не только получающуюся в результате вероятность наступления, но также и относительное влияние каждого вторичного события на получающуюся в результате тяжесть наводнения. Например, для площадок, расположенных на берегах устьев рек, подлежащие рассмотрению сочетания должны включать в себя как морские, так и речные условия. Если последствия таких сочетаний

значительные, а комплексная вероятность результатов не является низкой, то их следует учитывать. При выборе подходящих сочетаний необходима серьезная инженерная оценка (см. примеры в Приложении).

Применение критериев

12.11. В случае площадок, расположенных по берегам морей и рек, события, связанные с наводнением, которые следует учитывать, как правило, включают в себя последствия отдельных иницирующих причин и последствия сочетаний иницирующих причин. Следует рассматривать следующие причины:

- нагон;
- сейш;
- цунами;
- сток;
- разрушение плотины;
- ветровые волны;
- «прочее».

12.12. Приемлемое значение предельной ежегодной вероятности превышения следует определять для сочетаний экстремальных событий и соответствующих контрольных уровней воды, которые должны учитываться при расчете максимального проектного наводнения для АЭС, расположенной на морском побережье. При этом, из рассмотрения можно исключить определенные сочетания событий, если:

- постулируемое сочетание не приводит к комбинированной нагрузке на некоторую часть станции;
- комплексная вероятность равна или меньше установленного предела для значения вероятности;
- сочетание физически невозможно.

12.13. В связи со всеми паводковыми событиями следует рассматривать действие ветровой волны. При нагоне или сейше ветровые волны являются зависимым событием, и следует учитывать волны, которые образованы штормом, вызывающим нагон. В некоторых прибрежных морских регионах волны, образованные ветром, могут приводить к крупным наводнениям, и соответствующая составляющая нагона может быть незначительна. В таких случаях особое внимание следует обращать на оценку последствий ветровых волн и выбор соответствующих сочетаний событий, приводящих к наводнению. Цунами и паводки на реках, как правило, являются независимыми событиями;

также можно не учитывать одновременное наступление сильных ветровых волн. В сочетаниях следует учитывать только ветровые волны с более коротким интервалом повторения. В целом, следует учитывать возможность того, что ветер является зависимой переменной, сопровождающей высокий паводок на реке или метеорологические условия, вызывающие наводнение.

12.14. Сейши могут возникать в результате колебаний барометрического давления, штормовых нагонов, изменений скорости ветра и условий образования случайных волн. Таким образом, образование сейшей может зависеть от других событий, приводящих к наводнению, рассматриваемых в настоящем Руководстве по безопасности. Это следует принимать во внимание при выборе соответствующих сочетаний для площадки, для которой сейши могут иметь значение. Возможные сочетания событий, ведущих к наводнению, представлены в Приложении.

12.15. Следует оценивать потенциальную неустойчивость береговой линии, заторы или воздействия мусора и льда, и если наступление этих событий влияет на затопление площадки, то их следует комбинировать с другими первичными событиями, ведущими к наводнению.

12.16. Также следует рассматривать возможное косвенное влияние событий, приводящих к наводнению, на безопасность станции. Это влияние может включать в себя, например, травмирование персонала, повреждение сооружений мусором, переносимым паводком, или поступление грунтовых вод в результате повышения их уровня из-за высокого уровня поверхностных вод вблизи площадки.

13. АСПЕКТЫ ЗАЩИТЫ ОТ НАВОДНЕНИЯ ПЛОЩАДОК, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА МОРСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ И БЕРЕГАХ РЕК

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

13.1. В проекте станции следует учитывать:

- оценку расчетных параметров для сооружений, построенных для защиты территории площадки, таких как плотины и дамбы;

- оценку влияния возвышения площадки над рассчитанным уровнем паводка;
- выбор наилучших материалов с точки зрения устойчивости к эрозии, вызываемой водой;
- оценку наиболее подходящей компоновки станции для целей защиты;
- исследование возможного взаимного влияния сооружений защиты и частей станции.

13.2. Любые меры, предпринятые человеком для защиты (такие как плотины, дамбы, искусственные холмы и насыпи) могут повлиять на выработку основы проекта станции. Такие меры защиты включены в существующую систему оценки площадки, даже если их функции безопасности могут, в принципе, рассматриваться в соответствующих Руководствах по безопасности по проектированию станций. Так называемые «встроенные барьеры», напрямую связанные со станционными сооружениями (специальные подпорные стенки и герметизация проходов) рассматриваются в [3], поскольку они не считаются частью защитных мер площадки как таковой.

13.3. Как внешние барьеры, так и естественные и искусственные станционные «острова» следует считать средствами важными для безопасности, и они должны проектироваться, сооружаться и обслуживаться соответствующим образом.

13.4. Исследование мер защиты следует проводить, когда имеется полное представление о гидравлических и геологических условиях площадки.

ТИПЫ ЗАЩИТЫ

13.5. АЭС можно защитить от максимального проектного наводнения следующими методами:

- (а) *Все элементы важные для безопасности должны сооружаться выше уровня максимального проектного наводнения с учетом воздействия ветровых волн и воздействия возможного накопления льда и мусора. Это достигается, при необходимости, посредством размещения станции на достаточно высокой отметке или сооружения конструкций, которые повышают уровень площадки (концепция «сухой площадки»). В большинстве государств этот метод является более предпочтительным, чем приведенный ниже. Граница площадки контролируется и обеспечивается ее целостность. В частности, если необходимо насыпное*

сооружение для того, чтобы поднять площадку над уровнем, при котором создаются условия наступления максимального проектного наводнения, то такое сооружение следует считать имеющим отношение к безопасности и, следовательно, оно должно быть соответствующим образом защищено.

- (b) *Следует строить постоянные внешние барьеры, такие как дамбы, волноломы и перемычки.* В этом случае следует выбирать соответствующие проектные основы (напр., категорию сейсмостойкости, где это уместно) для таких барьеров, и проводить периодический контроль, мониторинг и техническое обслуживание этих барьеров. Такие барьеры следует считать элементами важными для безопасности.

13.6. В случае обоих методов, в качестве дополнительной меры защиты от затопления площадки, следует предусмотреть защиту станции от экстремальных гидрологических явлений посредством гидроизоляции и соответствующих конструктивных особенностей всех элементов, необходимых для обеспечения возможности останова реактора и поддержания его в условиях безопасного останова. Все прочие сооружения, системы и элементы важные для безопасности должны быть защищены от воздействий максимального проектного наводнения, который может быть меньшей тяжести, чем принято в проекте защитных сооружений площадки. На основании данных, полученных при мониторинге в реальном времени, о выявленных причинах затопления должны быть разработаны специальные эксплуатационные инструкции [6].

13.7. Такой подход является приемлемым, если выполняются следующие условия:

- (a) наличие системы предупреждения, способной обнаружить потенциальное затопление площадки с запасом по времени, достаточным для осуществления безопасного останова станции вместе с проведением соответствующих противоаварийных мероприятий;
- (b) все элементы важные для безопасности (включая системы предупреждения, запитанные от внешних источников энергоснабжения) спроектированы на условия образования наводнения (например, ветер и оползни, но за исключением экстремально редких сочетаний), которые считаются типичными для географического региона расположения площадки.

АНАЛИЗ ЗАЩИТЫ

13.8. Воздействие воды на сооружения может быть статическим, динамическим или их сочетанием. Во многих случаях воздействия льда и мусора, переносимых наводнением, являются значимыми переменными при оценке давления. Эрозия в результате наводнений также может отрицательно влиять на безопасность; этот аспект рассматривался в предыдущем разделе.

13.9. Другими факторами, связанными с наводнением, и которые следует учитывать при оценке площадки, в основном из-за их потенциального влияния на забор воды, а, следовательно, и на элементы важные для безопасности, являются:

- отложения материала, транспортируемого паводком, который, как правило, появляется к окончанию паводка;
- эрозия стороны конструкции, обращенной к воде;
- засорение водозаборов льдом;
- засорение биотой (напр., рыбой, медузами, моллюсками);
- солевая коррозия (в морской среде после сильного орошения).

Методы проектирования представлены в [6] .

13.10. В последнее время был получен большой объем данных о протечках, в особенности, через плохо герметизированные конструкционные соединения или кабельные проходки и смотровые отверстия. Меры по предотвращению таких протечек связаны, в основном, с проектированием, однако следует уделять внимание возможному подъему уровня грунтовых вод из-за наводнения, техногенного изменения территории, землетрясения или вулканической активности, поскольку их максимальный уровень является реальной основой проекта для станции.

13.11. Два метода защиты, представленные выше, являются базовыми подходами к защите АЭС от последствий наводнения. В некоторых случаях защита может быть обеспечена за счет комбинации подходов, заложенных в этих методах. Тем не менее, вмешательство, которое может иметь место в результате каких-либо работ площадке или вблизи нее, таких как строительство, о котором шла речь в пп. 13.5 (a) и (b), может привести к изменению уровня наводнения, а потому его следует тщательно анализировать.

13.12. В этой связи сооружения противопаводковой защиты следует анализировать таким же образом, что и другие конструктивные элементы важные для безопасности.

УСТОЙЧИВОСТЬ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ

13.13. Устойчивость береговой линии является важным фактором при определении приемлемости площадки, особенно в случае площадок, расположенных на берегах крупных водных пространств. Устойчивость береговой линии вблизи площадки следует анализировать совместно с анализом воздействия, оказываемого на устойчивость самой атомной электростанцией.

13.14. В случае АЭС, размещенных на берегах рек, следует учитывать стабильность русла при экстремальных паводках.

13.15. На начальном этапе выбора площадки исследования должны включать в себя сбор и анализ всех имеющихся исторических данных об устойчивости местной береговой линии. В случае песчаных или наносных берегов принято проводить оценку устойчивости береговой линии при допущении перемещения к берегу - от берега и прибрежного переноса береговых материалов. Если морской берег сформирован из утесов, то изменения в береговой линии могут происходить в течение длительного периода времени и могут быть выявлены только по историческим картам.

13.16. Особое внимание следует обращать на два аспекта: долговременная устойчивость береговой линии и ее устойчивость при сильных штормах. Для исследования устойчивости в последнем случае, как правило, недостаточно рассматривать только шторм, который вызывает максимальный вероятный штормовой нагон, потому что он может не приводить к возникновению условий, которые являются критическими с точки зрения эрозии. Как правило, в рамках анализа последствий эрозии для береговой линии и сооружений АЭС рассматриваются штормы относительно большой продолжительности или ветровые поля с такими направлениями, при которых они могут вызывать более высокие волны большей продолжительности на площадке.

13.17. Исследование воздействия стационарных сооружений на устойчивость берега включает в себя:

- (a) нарастание отложений и эрозия вниз по течению в результате блокирования прибрежного течения;
- (b) эрозия берега под воздействием сооружений, построенных в отмелевой зоне песчаных пляжей, при перемещениях к берегу – от берега береговых материалов.

Анализ устойчивости береговой линии

13.18. Анализ следует проводить для определения возможной потери устойчивости береговой линии на площадке и в отношении любых возможных последствий для элементов важных для безопасности. Сильные штормы могут приводить к значительным изменениям прибрежной зоны, особенно профиля берега. Хотя долговременный профиль берега в равновесии, как правило, определяется степенью его подверженности умеренно сильным ветрам, волнам и приливным течениям, а не редким событиям большой магнитуды, следует рассматривать события обоих типов. Анализ следует проводить в следующей последовательности:

- (a) Исследование с целью установления конфигурации береговой линии, включая ее профиль (напр., бермы, дюны, искусственные сооружения и батиметрия непосредственно прилегающей зоны).
- (b) Исследование с целью определения типичных распределений размеров зерна или состава береговых материалов в горизонтальном и вертикальном направлениях.
- (c) Исследование движений приливов (вертикальное и горизонтальное, включая изменения уровня моря), подверженность воздействию волн и климатология.
- (d) Оценка условий берегового переноса на площадке и дне моря у берега; оценка степени перемещения песка.
- (e) Установление тенденций краткосрочной и долгосрочной миграции береговой линии, а также защищенность растительностью.
- (f) Определение направления и скорости движения отложений к берегу – от берега, а также предполагаемых форм профиля береговой линии и изменений этих форм.
- (g) Оценка воздействия АЭС, включая охлаждательные сооружения, на форму береговой линии.

Оценка берегового переноса песка

13.19. Береговой перенос песка в прибрежной зоне следует оценивать посредством изучения приливных течений и климатологических данных для

волн в данном сегменте берега, в частности, посредством получения информации о том, как волны взаимодействуют с берегом и переносят песок. При исследовании условий вблизи берега следует рассматривать следующие аспекты, включающие высоту волн, периодичность и направления их распространения:

- (a) судовые наблюдения за волнами в прибрежной акватории океана;
- (b) локальные данные о ветре из климатологических карт региона;
- (c) более подробные и достоверные данные, полученные с помощью регистрации волновой активности волнографами, по меньшей мере, за один год;
- (d) волновые картины, экстраполированные с подобной близлежащей местности, если не имеется информации о данной местности.

13.20. Для расчетов действительного берегового переноса при определении долгосрочной устойчивости береговой линии и ее устойчивости в случае наступления условий сильного наводнения необходимы данные о высоте, периодичности и направлениях прибойных волн, которые следует оценивать с помощью диаграмм рефракции волн, а также характеристики береговых отложений.

13.21. Поскольку точность теоретических прогнозов не известна и их невозможно применять ко всем береговым линиям, а также поскольку данные, используемые для составления прогноза, как правило, демонстрируют большой экспериментальный разброс, такие теоретические расчеты следует дополнять наблюдениями и исторической информацией о реальном движении береговых линий.

ДРЕНАЖ ПЛОЩАДКИ

13.22. Площадка станции должна иметь надлежащий сток для предотвращения затопления объектов, имеющих отношение к безопасности. Затопление может иметь место в результате:

- интенсивных локальных атмосферных осадков;
- переполнения сооружений, предназначенных для защиты станции;
- поверхностного склонового стока на участки, примыкающие к объектам и оборудованию, имеющим отношение к безопасности;
- склонового стока с возвышенностей в направлении станции;

- переполнения естественных русел и искусственных каналов в районе расположения площадки;
- запруживания на территории площадки из-за топографических особенностей территории.

13.23. Следует анализировать и обследовать меры и средства, применяемые для дренирования рассматриваемой площадки. Обеспеченный доступ на площадку, действия персонала на площадке и удаление избыточной воды следует считать системой, относящейся к безопасности. Уровень стока системы следует выбирать таковым, чтобы предотвратить нарушение функционирования системы наводнением.

ТРАНСПОРТНОЕ СООБЩЕНИЕ И СВЯЗЬ

13.24. Как следует из опыта эксплуатации, существует общий риск, связанный с отсутствием транспортного сообщения и связи на площадке, между площадкой и прилегающими районами в части контактов с противоаварийными группами, обеспечения замены сменного операционного персонала и информирования населения. Эти функции должны быть обеспечены во время и после наводнения.

13.25. Наличие внешних путей сообщения с площадкой во время и после наводнения касается объектов, которые не всегда находятся под контролем администрации площадки. Поскольку наличие таких путей сообщения является ключевым элементом противоаварийного планирования, то в части оценки риска для площадки следует проводить специальный анализ сценария развития наводнения совместно с компетентными органами.

14. ИЗМЕНЕНИЕ СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ НАВОДНЕНИЯ ВО ВРЕМЕНИ

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

14.1. Степень опасности наводнения может изменяться во времени по разным причинам, а именно:

- изменения физической географии бассейна стока, включая устья, и изменения батиметрии в направлении от берега, профиля береговой линии и водосборной площади;
- изменения, вызванные изменениями климата.

Изменения физической географии

14.2. В случае бассейнов рек максимальное проектное наводнение, в большей степени, зависит от физической природы бассейна. В случае устьев рек максимальное проектное наводнение может изменяться во времени в результате изменений в географии или других изменений, таких как строительство защитных преград от штормового нагона.

14.3. Неизменную вероятность наступления максимального проектного наводнения следует проверять посредством периодических проверок условий в бассейне, которые могут быть связаны с наводнениями (напр., лесные пожары, городское строительство, изменение землепользования, вырубка леса, закрытие приливных протоков, сооружение плотин или сооружение защитных преград от штормового нагона, а также изменения в отложениях и эрозия). Такие проверки условий в бассейне следует проводить через соответствующие промежутки времени, в основном, посредством аэросъемки, дополненной, по мере необходимости, полевыми исследованиями. В случае особо важных изменений (напр., обширные лесные пожары) следует проводить специальные исследования. В тех случаях, когда из-за размера бассейна невозможно аэросъемку с достаточной периодичностью, следует рассмотреть использование данных спутниковой съемки, такой как с искусственных спутников для съемки поверхности Земли («Landsat»).

14.4. Данные, полученные при прогнозировании наводнений и с систем контроля, а также любых систем предупреждения, следует периодически анализировать на предмет изменений в характеристиках наводнения в водосборном бассейне, включая устья рек.

14.5. Признаки изменений в характеристиках наводнения в водосборных бассейнах следует использовать для пересмотра, если это уместно, расчетных значений паводка и для совершенствования защиты систем и сооружений, систем прогнозирования и мониторинга, а также противоаварийных мер.

14.6. В некоторых прибрежных морских зонах осадка грунта (техногенная, связанная с добычей нефти, природного газа и воды, или природная) может

быть принята во внимание при оценке фактической высоты уровня воды на площадке, в сочетании с явлениями, вызванными изменением климата.

Изменения, вызванные изменением климата

14.7. Изменения мирового климата, в особенности, проявляются в регионах, расположенных в средних широтах. Необходимость постоянного долговременного контроля параметров окружающей среды является наиболее важным следствием признанных последствий глобального потепления климата. Последующую корректировку проектных данных следует увязывать с конкретными процедурами периодической корректировки оценки риска для площадки. На этапе оценки площадки следует проводить точную оценку таких последствий.

14.8. Обсуждения вопроса техногенного изменения климата будут продолжаться во всем мире. Основные последствия в отношении риска для АЭС связаны со следующими причинами:

- (a) изменения температуры воздуха и морской воды;
- (b) изменения картины, частотности и возмущенности ветров;
- (c) изменения характеристик атмосферных осадков, таких как более высокие пиковые уровни;
- (d) изменения подъема и аномалий уровней моря;
- (e) изменения объемов стока рек.

14.9. Прогнозы, связанные изменениями климата техногенного происхождения, сильно различаются, однако для оценки площадок для размещения АЭС следует допускать некоторые определенные значения. В рамках Межправительственной комиссии по изменению климата во всем мире проводятся исследования, связанные с климатическими изменениями. Результаты этих исследований могут быть использованы при анализе возможных воздействий на АЭС. Результаты для отдаленного будущего будут иметь соответствующую недостоверность. В случае АЭС следует принимать верхнюю границу 95% доверительного интервала. Период может быть выбран продолжительностью в 100 лет, как срок службы АЭС (включая время на вывод из эксплуатации, если необходимо), но следует принять меры к тому, чтобы его можно продлить настолько, насколько это необходимо. Особую значимость будут иметь возмущенность и атмосферные осадки, хотя на основе существующих научных теорий никаких количественных показателей на сегодняшний день представить нельзя.

14.10. При проектировании АЭС следует учитывать некоторый запас по безопасности. Если проводятся периодические оценки безопасности, то такой запас по безопасности может быть отнесен к периоду времени между двумя следующими друг за другом оценками. Если рассматривается весь срок службы станции, то можно рассматривать следующие общепринятые оцененные изменения параметров:

- повышение среднего уровня моря: 35–85 см;
- повышение температуры воздуха: 1,5–5 °С;
- повышение температуры морской или речной воды: 3 °С;
- увеличение силы ветра: 5–10%;
- увеличение атмосферных осадков: 5–10%.

14.11. Следует проводить физическое и численное моделирование с целью анализа воздействия изменений климата на максимальное проектное наводнение с точки зрения:

- повышения пикового уровня стока;
- снижения нижнего уровня стока;
- увеличения скорости сильных ветров;
- изменения в картине преобладающих ветров;
- повышения уровня штормовых нагонов;
- увеличения размера и энергии волн (из-за скорости ветра и глубины воды);
- повышения объемов стока рек.

14.12. Что касается рисков, вызываемых изменениями климата, таких как повышение уровня моря или постепенные изменения в землепользовании, то нет необходимости в принятии неотложных мер. При территориальном планировании вокруг станции следует предусмотреть участки земли для размещения водозащитных сооружений, если считается, что такие меры необходимы. Следует проводить тщательный контроль для определения необходимости проведения таких мер. В целом, такие меры следует принимать в связи со строительством новой станции.

15. МЕРЫ КОНТРОЛЯ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ СТАНЦИИ

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

15.1. Если наводнение представляет значительный риск для площадки станции, то требование проведения непрерывного контроля площадки имеет исключительную важность и должно выполняться, начиная с этапа размещения до окончания этапа эксплуатации станции в следующих целях:

- для валидации максимального проектного наводнения, особенно в случаях, когда не имеется исчерпывающих серий исторических данных;
- для периодического совершенствования защиты площадки по результатам периодической оценки безопасности (см. [5]); этот аспект приобретает особую актуальность вследствие влияния глобального изменения климата;
- для получения сигналов опасности операторами и руководителями противоаварийных действий.

15.2. Меры по контролю и предупреждению, которые необходимо принимать во время эксплуатации станции будут зависеть от уровня защиты, предлагаемого выбранной площадкой и типа противопаводковой защиты, выбранной для проекта станции. Некоторые из этих мер следует реализовывать на раннем этапе осуществления проекта, поскольку они могут быть полезны при валидации значений параметров максимального проектного наводнения.

15.3. Данные для использования при долгосрочном контроле и данные для системы предупреждения следует выбирать по различным критериям, поскольку цели контроля и системы предупреждения различаются. Целью долгосрочного контроля является оценка или повторная оценка максимального проектного наводнения. Цель системы предупреждения – прогнозирование экстремального события. В случае системы предупреждения особое внимание следует обращать на ее способность обнаруживать любое наступление затопления станции с запасом по времени, достаточным для приведения станции в безопасное состояние. Система предупреждения должна быть в наличии на площадках, где опасность наводнения является значимым для проекта станции.

15.4. Систему предупреждения следует применять в сочетании с моделями прогнозирования, поскольку период времени, который потребуется для выполнения оператором действий по приведению станции в безопасное состояние, может обуславливать необходимость действий на основе экстраполяции тенденций явлений, не дожидаясь реального наступления наводнения.

15.5. В случае, если оператор полагается на модели прогнозирования, которые предоставлены сторонними организациями, то следует проводить специальную валидацию этих моделей и канала соединения при общей оценке их доступности и надежности в случае затопления.

15.6. Следует осуществлять специальную деятельность по обеспечению качества с тем, чтобы определить компетенцию и ответственность в части установки систем контроля, их работоспособности, соответствующей обработки данных и указаний на действия оператора.

ПЛОЩАДКИ, РАСПОЛОЖЕННЫЕ НА МОРСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ

15.7. В этой связи можно рассматривать следующие системы контроля и предупреждения:

- система контроля основных атмосферных параметров;
- система измерения уровня воды;
- система предупреждения о цунами.

Атмосферные параметры

15.8. Если регион размещения станции попадает в зону действия системы мониторинга и предупреждения Всемирной метеорологической организации или национальной системы предупреждения о наводнениях, то следует предпринять организационные меры по обеспечению надежного и своевременного получения таких предупреждений. В другом случае следует рассмотреть установку системы предупреждения. Станции такой системы следует располагать на расстоянии менее 100 км друг от друга, а периодичность наблюдений должна быть не реже, чем две серии наблюдений в день.

15.9. Регулярное получение спутниковых снимков может быть полезным источником информации о местонахождении и перемещении опасных атмосферных возмущений, таких как тропические циклоны. Такую

информацию следует собирать для получения раннего предупреждения о приближении опасности затопления.

Береговая информация

15.10. Для площадки, выбранной на морском побережье со значительным диапазоном приливной активности, может быть организован регулярный сбор данных самописцев уровня моря.

Система предупреждения о цунами

15.11. Система предупреждения о цунами создана в Тихом океане с центром, расположенном в Хило на Гавайях в США. Этот центр получает информацию о цунами на побережьях Тихого океана и передает ее государствам, расположенным на берегах Тихого океана. Также, в тихоокеанском регионе имеются две небольшие сети. Предлагаемая площадка АЭС в тихоокеанском регионе может быть подсоединена к этим сетям.

ПЛОЩАДКИ, РАСПОЛОЖЕННЫЕ НА БЕРЕГАХ РЕК

15.12. В этой связи следует рассматривать следующие системы:

- система прогнозирования и контроля паводка;
- система контроля и предупреждения на гидротехнических сооружениях, имеющих отношение к безопасности станции.

Система прогнозирования и контроля паводка

15.13. Если в регионе уже имеется система прогнозирования и контроля паводка, то станцию следует к ней подключить. Если системы прогнозирования и контроля паводка нет, то следует создать такую систему для сбора и передачи данных о соответствующих параметрах на станцию; также, следует разработать соответствующие модели прогнозирования гидрологической ситуации. Следует пользоваться данными и снимками, получаемыми со спутников и метеорологических радиолокационных станций. Следует регулярно контролировать условия стока бассейна с целью регистрации данных об изменении в землепользовании, лесных пожарах и городском строительстве на больших площадях, поскольку изменения этих факторов могут в значительной степени сказаться на характеристиках бассейна.

Мониторинг гидротехнических сооружений

15.14. Гидрологические и конструкционные особенности гидротехнических сооружений следует контролировать с точки зрения таких параметров, как уровни воды, скорости течения воды, скорости отложения, скорости фильтрации под сооружениями, напряжения, усилия и деформации и смещения. Данные о большинстве этих параметров следует получать от организаций, эксплуатирующих такие сооружения. При практической возможности следует создать систему предупреждения между организацией, эксплуатирующей сооружение, и эксплуатирующей организацией АЭС.

15.15. Если функционирование системы, имеющей отношение к безопасности, связано с функционированием системы предупреждения, то следует проанализировать эксплуатационные аспекты такой взаимосвязи и предпринять меры по обеспечению того, что внутренний уровень безопасности системы, имеющей отношение к безопасности, не снижается из-за возможных отказов системы предупреждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Site Evaluation for Nuclear Installations, Safety Standards Series No. NS-R-3, IAEA, Vienna (2003).
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Evaluation of Seismic Hazards for Nuclear Power Plants, Safety Standards Series No. NS-G-3.3, IAEA, Vienna (2003).
- [3] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Геотехнические аспекты оценки площадок и оснований АЭС, Серия норм безопасности № NS-G-3.6, МАГАТЭ, Вена (2005).
- [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] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Безопасность атомных электростанций: проектирование, Серия норм безопасности № NS-R-1, МАГАТЭ, Вена (2003).
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, External Events Excluding Earthquakes in the Design of Nuclear Power Plants, Safety Standards Series No. NS-G-1.5, IAEA, Vienna (2003).
- [7] 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).

Приложение

ПРИМЕРЫ ВОЗМОЖНЫХ СОЧЕТАНИЙ СОБЫТИЙ, ВЫЗЫВАЮЩИХ НАВОДНЕНИЕ

А-1. Подходящие сочетания событий, вызывающих наводнение, зависят от конкретных характеристик площадки и включают в себя значительную инженерную оценку. Ниже приведен пример набора сочетаний событий, которые вызывают наводнения, для использования при определении проектных условий для противопаводковой защиты в устье; здесь значение имеют следующие аспекты:

- астрономический прилив;
- штормовой нагон;
- накат волны;
- объем стока реки.

А-2. Следует определять (включая несколько статистических параметров, некоторые из которых тесно взаимосвязаны, а некоторые не связаны совсем) максимальное проектное наводнение, связанное с установленной вероятностью превышения (напр., 1×10^{-4}) для следующих сочетаний событий:

- высокий уровень воды (который является функцией от астрономической высоты воды, волнового нагона (ветра) и стока реки)
плюс
- накат волны (который является функцией от уровня воды, высоты волны, периода волны (ветра) и геометрии сооружения).

А-3. Исходя из опыта одного из государств-членов Агентства, эту оценку можно проводить консервативно, принимая максимальные из следующих предлагаемых сочетаний А, В, С и D:

- Сочетание А:
 - максимальный проектный уровень воды (МПУВ) (с учетом сизигийного прилива, 1×10^{-4} значение штормового нагона на побережье и среднее значение объема стока реки)
плюс, при известном МПУВ,
 - накат волны (с наибольшей вероятной высотой волны и периодом волны, а также геометрия сооружения).

(напр., параметры волны могут быть получены из модели волны с использованием МПУВ и таких же параметров ветра, что и при расчете МПУВ по гидравлической модели).

- Сочетание В:

- высокий уровень воды (ВУВ) (с учетом сизигийного прилива, 1×10^{-2} значение штормового нагона на побережье и значение объема стока реки 1×10^{-1})

плюс, при известном МПУВ,

- накат волны (с наибольшей вероятной высотой волны и периодом волны, а также геометрия сооружения)

- (вероятность совпадения во времени штормового нагона и наводнения на реке консервативно принимается 1×10^{-1}).

- Сочетание С:

- высокий уровень воды (ВУВ) (с учетом сизигийного прилива, 1×10^{-1} значение штормового нагона на побережье и значение объема стока реки 1×10^{-2})

плюс, при известном МПУВ,

- накат волны (с наибольшей вероятной высотой волны и периодом волны, а также геометрия сооружения).

- Сочетание D:

- высокий уровень воды (ВУВ) (с учетом сизигийного прилива, без штормового нагона на побережье и значение объема стока реки 1×10^{-4})

плюс

высота надводного борта 0,5 м.

СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ

Contri, P.	International Atomic Energy Agency
De Ronde, J.	National Institute for Coastal and Marine Management (RIKZ), Netherlands
Giuliani, P.	Ente Nazionale Energie Alternative, Italy
Imamura, F.	Disaster Control Research Centre of Tohoku University, Japan
Rebour, V.	Institut de protection et de sûreté nucléaire, France
Van Urk, A.	National Institute for Coastal and Marine Management, Netherlands

ОРГАНЫ, УЧАСТВУЮЩИЕ В ОДОБРЕНИИ НОРМ БЕЗОПАСНОСТИ

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

Комиссия по нормам безопасности

Аргентина: Oliveira, A.; Бразилия: Caubit da Silva, A.; Канада: Pereira, J.K.; Франция: Gauvain, J.; Lacoste, A.-C.; Германия: Renneberg, W.; Индия: Sukhatme, S.P.; Япония: Tobioka, T.; 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: Hall, A.; Williams, L.G. (председатель); Соединенные Штаты Америки: Travers, W.D.; МАГАТЭ: Karbassioun, A. (координатор); Международная комиссия по радиологической защите: Clarke, R.H.; Агентство по ядерной энергии ОЭСР: Shimomura, K.

Комитет по нормам ядерной безопасности

*Аргентина: Sajaroff, P.; Австралия: MacNab, D.; *Беларусь: Судаков, И.; Бельгия: Govaerts, P.; Бразилия: Salati de Almeida, I.P.; Болгария: Гантчев, Т.; Канада: Hawley, P.; Китай: Wang, J.; Чешская Республика: Böhm, K.; *Египет: Hassib, G.; Финляндия: Reiman, L. (председатель); Франция: Saint Raymond, P.; Германия: Feige, G.; Венгрия: Vöröss, L.; Индия: Kushwaha, H.S.; Ирландия: Hone, C.; Израиль: Hirshfeld, H.; Япония: Yamamoto, T.; Корея, Республика: Lee, J.-I.; Литва: Demcenko, M.; *Мексика: Delgado Guardado, J.L.; Нидерланды: de Munk, P.; *Пакистан: Hashimi, J.A.; *Перу: Ramírez Quijada, R.; Российская Федерация: Баклушин, Р.П.; Южная Африка: Bester, P.J.; Испания: Mellado, I.; Швеция: Jende, E.; Швейцария: Aeberli, W.; *Таиланд: Tanipanichskul, P.; Турция: Alten, S.; Соединенное Королевство: Hall, A.; Соединенные Штаты Америки: Mayfield, M.E.; Европейская комиссия: Schwartz, J.-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:* Melbourne, A.; **Беларусь:* Рыдлевский, Л.; *Бельгия:* Smeesters, P.; *Бразилия:* Amaral, E.; *Канада:* Bundy, K.; *Куба:* Betancourt Hernandez, A.; *Чешская Республика:* Drabova, D.; *Дания:* Ulbak, K.; **Египет:* Hanna, M.; *Финляндия:* Markkanen, M.; *Франция:* Piechowski, J.; *Германия:* Landfermann, H.; *Венгрия:* Koblinger, L.; *Индия:* Sharma, D.N.; *Ирландия:* Colgan, T.; *Израиль:* Laichter, Y.; *Италия:* Sgrilli, E.; *Япония:* Yamaguchi, J.; *Корея, Республика:* Kim, C.; **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:* Pongrat, P.; *Турция:* Uslu, I.; *Украина:* Лихтарев, И.А.; *Соединенное Королевство:* Robinson, I. (председатель); *Соединенные Штаты Америки:* Paperiello, C.; *Европейская комиссия:* Janssens, A.; *МАГАТЭ:* Boal, T. (координатор); *Международная комиссия по радиологической защите:* Valentin, J.; *Международное бюро труда:* Niu, S.; *Международная ассоциация радиационной защиты:* Webb, G.; *Международная организация по стандартизации:* Perrin, M.; *Международная ассоциация радиационной защиты:* Webb, G.; *Агентство по ядерной энергии ОЭСР:* Lazo, T.; *Панамериканская организация здравоохранения:* Jimenez, P.; *Научный комитет ООН по действию атомной радиации:* Gentner, N.; *Всемирная организация здравоохранения:* Kheifets, L.

Комитет по нормам безопасности перевозки

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

организация гражданской авиации: Rooney, K.; Международная федерация ассоциаций линейных пилотов: Tisdall, A.; Международная морская организация: Rahim, I.; Международная организация по стандартизации: Malesys, P.; Экономическая комиссия Организации Объединенных Наций для Европы: Kervella, O.; Всемирный институт по ядерным перевозкам: Lesage, M.

Комитет по нормам безопасности отходов

*Аргентина: Siraky, G.; Австралия: Williams, G.; *Беларусь: Роздяловская, Л.; Бельгия: Baekelandt, L. (председатель); Бразилия: Xavier, A.; *Болгария: Симеонов, Г.; Канада: Ferch, R.; Китай: Fan, Z.; Куба: Benitez, J.; *Дания: Øhlenschlaeger, M.; *Египет: Al Adham, K.; Al Sorogi, M.; Финляндия: Rukola, E.; Франция: Averous, J.; Германия: von Dobschütz, P.; Венгрия: Czoch, I.; Индия: Raj, K.; Ирландия: Pollard, D.; Израиль: Avraham, D.; Италия: Dionisi, M.; Япония: Irie, K.; Корея, Республика: Song, W.; *Мадагаскар: Andriambolona, R.; Мексика: Aguirre Gómez, J.; Нидерланды: Selling, H.; *Норвегия: Sorlie, A.; Пакистан: Hussain, M.; *Перу: Gutierrez, M.; Российская Федерация: Полуэктов, П.П.; Словацкая Республика: Konecny, L.; Южная Африка: Pather, T.; Испания: López de la Higuera, Ruiz López, C.; Швеция: Wingefors, S.; Швейцария: Zurkinden, A.; *Таиланд: Wangcharoenroong, B.; Турция: Osmanlioglu, A.; Соединенное Королевство: Wilson, C.; Соединенные Штаты Америки: Greeves, J.; Wallo, A.; Европейская комиссия: Taylor, D.; МАГАТЭ: Hioki, K. (координатор); Международная комиссия по радиологической защите: Valentin, J.; Международная организация по стандартизации: Hutson, G.; Агентство по ядерной энергии ОЭСР: Riotte, H.*

