

**МЕЖДУНАРОДНАЯ ШКАЛА ЯДЕРНЫХ СОБЫТИЙ
(ИНЕС)
РУКОВОДСТВО ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ**

Издание 2001 г. (IAEA-INES-2001)

Подготовлено совместно МАГАТЭ и АЯЭ ОЭСР

**МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
ВЕНА, 2001**

ПРЕДИСЛОВИЕ

Международная шкала ядерных событий (ИНЕС) была введена в марте 1990 г. совместно Международным агентством по ядерной энергии (МАГАТЭ) и Агентством по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития (АЯЭ ОЭСР). Ее главная цель – облегчить связь и взаимопонимание между специалистами атомной промышленности, средствами массовой информации и общественностью по поводу значимости с точки зрения безопасности событий (происшествий), случающихся на ядерных установках. Шкала была уточнена в 1992 г. в свете накопленного опыта и расширена для применения к любым событиям, связанным с радиоактивными материалами и/или радиацией, в том числе с транспортировкой таких материалов.

Настоящее издание "Руководства для пользователей ИНЕС" отражает опыт использования шкалы в редакции 1992 г. и документа под названием "Разъяснения по возникшим вопросам". Таким образом, новое издание заменяет собой эти предыдущие публикации, сохраняя без изменений техническую основу для процедуры классификации по ИНЕС. Предполагается, что оно облегчит выполнение задачи для тех, кто должен с помощью шкалы ИНЕС оценивать значимость событий с точки зрения безопасности.

Сеть связи ИНЕС в настоящее время получает от национальных координаторов ИНЕС в 60 государствах-членах и распространяет между ними специальные "Формуляры оценки события", которые содержат специальную информацию о событиях, включая их оценку. Такой процесс обмена информацией привел к созданию в каждой участвующей стране внутренней сети, которая обеспечивает оперативное освещение и оценку всех событий, подлежащих отчетности внутри страны или за ее пределами.

МАГАТЭ по запросу предоставляет услуги по обучению пользователей ИНЕС.

СОДЕРЖАНИЕ

ЧАСТЬ I.	КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ	7
I-1.	ВВЕДЕНИЕ	7
I-1.1.	Исходные положения	7
I-1.2.	Общее описание шкалы	7
I-1.3.	Сфера применения шкалы	9
I-1.4.	Использование шкалы	9
I-1.5.	Примеры классифицированных событий	12
I-1.6.	Структура "Руководства"	13
ЧАСТЬ II.	ПРОЦЕДУРА КЛАССИФИКАЦИИ СОБЫТИЙ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ В МАГАТЭ	14
II-1.	ПРОЦЕДУРА ОЦЕНКИ	14
II-2.	ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ О СОБЫТИЯХ В ИНФОРМАЦИОННУЮ СЛУЖБУ МАГАТЭ	14
ЧАСТЬ III.	ВОЗДЕЙСТВИЕ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ПЛОЩАДКИ И НА ПЛОЩАДКЕ	24
III-1.	ВОЗДЕЙСТВИЕ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ПЛОЩАДКИ	24
III-1.1.	Общее описание	24
III-1.2.	Определение уровней	25
III-1.3.	Расчет радиологической эквивалентности и дозы	26
III-2.	ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПЛОЩАДКЕ	27
III-2.1.	Общее описание	27
III-2.2.	Определение уровней	28
III-2.3.	Расчет радиологической эквивалентности	29
ЧАСТЬ IV.	ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННУЮ ЗАЩИТУ	31
IV-1.	ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ	31
IV-2.	ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ КЛАССИФИКАЦИИ СОБЫТИЙ	32
IV-3.	ПОДРОБНЫЕ УКАЗАНИЯ ПО КЛАССИФИКАЦИИ СОБЫТИЙ	33
IV-3.1.	Определение максимально возможных последствий	33
IV-3.2.	Определение базового уровня с учетом эффективности средств безопасности	34
IV-3.3.	Рассмотрение дополнительных факторов	43
IV-4.	ОПРЕДЕЛЕНИЯ	44
ЧАСТЬ V.	ПРИМЕРЫ, ИЛЛЮСТРИРУЮЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННОЙ ЗАЩИТЫ	47

V-1.	УКАЗАНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ МЕТОДА ЭШЕЛОНОВ ЗАЩИТЫ ДЛЯ КОНКРЕТНЫХ ТИПОВ СОБЫТИЙ	47
V-1.1.	Контроль критичности	47
V-1.2.	Утеря или изъятие радиоактивных источников	47
V-1.3.	Неразрешенный сброс и/или распространение загрязнителя	48
V-1.4.	Дозиметрический контроль	48
V-1.5.	Блокировка входа в защищенные помещения ограниченного доступа	48
V-1.6.	Отказы систем вытяжной вентиляции, фильтрации и очистки	49
V-1.7.	Инциденты при грузовых операциях и падения тяжелых грузов	49
V-1.8.	Потеря электроснабжения	50
V-1.9.	Пожар и взрыв	50
V-1.10.	Внешние опасности	51
V-1.11.	События во время транспортировки	51
V-1.12.	Отказы в системах охлаждения	52
V-2.	ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ЭШЕЛОНОВ ЗАЩИТЫ	53
V-3.	ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИМЕРЫ КЛАССИФИКАЦИИ РЕАЛЬНЫХ СОБЫТИЙ	58
V-3.1.	Примеры с использованием метода исходных событий	58
	Пример 1: Быстрый останов реактора, вызванный падением управляющих стержней - уровень 0	58
	Пример 2: Утечка теплоносителя реактора во время перегрузки топлива на мощности – уровень 1	58
	Пример 3: Неготовность спринклерной системы защитной оболочки из-за клапанов, оставленных в закрытом положении – уровень 1	59
	Пример 4: Утечка воды из первого контура через разрывную мембрану барботажного бака компенсатора давления – уровень 1	59
	Пример 5: Потеря принудительной циркуляции газа на 15-20 минут – уровень 2	60
	Пример 6: Падение тепловыделяющей сборки во время перегрузки топлива – уровень 1	62
	Пример 7: Частичное засорение водозабора одного энергоблока и потеря внешнего электроснабжения второго энергоблока в холодную погоду – уровень 3	62
	Пример 8: Неточная калибровка локальных детекторов превышения мощности – уровень 1	63
	Пример 9: Отказ канала систем безопасности во время регламентных испытаний – уровень 1	64
	Пример 10: Малая течь в первом контуре – уровень 2	64

	Пример 11: Аварийный останов энергоблока, вызванный возмущениями в энергосистеме вследствие урагана – уровень 3	64
	Пример 12: Полное обесточивание станции вследствие пожара в турбинном здании – уровень 3	65
V-3.2.	Примеры, основанные на методе эшелонов защиты	66
	Пример 13: Повышение давления в незаполненном объеме аппарата для растворения твэлов – уровень 0	66
	Пример 14: Работник получил интегральную дозу на все тело выше нормативного предела – уровень 1	66
	Пример 15: Отказ блокировочной системы защитных дверей – уровень 2	66
	Пример 16: Неудовлетворительный контроль критичности – уровень 1	67
	Пример 17: Длительная потеря вентиляции на предприятии по изготовлению топлива – уровень 1	68
	Пример 18: Потеря вентиляции в хранилище продуктов деления – уровень 1	69
	Пример 19: Утеря герметизированного источника – уровень 2	70
	Пример 20: Разлив жидкости, содержащей плутоний, на полу лаборатории – уровень 2	70
	Пример 21: Обнаружение ядерного материала в предположительно пустых транспортных емкостях – уровень 1	71
	Пример 22: Полная потеря охлаждения во время останова – уровень 1	71
	Пример 23: Резкое увеличение мощности в исследовательском реакторе во время перегрузки топлива – уровень 2	72
ЧАСТЬ VI.	ПРИЛОЖЕНИЯ	73
	ПРИЛОЖЕНИЕ I. РАСЧЕТ РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ	73
	ПРИЛОЖЕНИЕ II. КРАТКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНКИ СОБЫТИЙ ПРИ РАБОТЕ РЕАКТОРОВ НА МОЩНОСТИ ПО СОСТОЯНИЮ ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННОЙ ЗАЩИТЫ	78
	ПРИЛОЖЕНИЕ III. ПОСТРОЕНИЕ ТАБЛИЦ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОБЫТИЙ ПРИ РАБОТЕ РЕАКТОРОВ НА МОЩНОСТИ (Раздел IV-3.2.1)	80
	ПРИЛОЖЕНИЕ IV. ПРИМЕРЫ ИСХОДНЫХ СОБЫТИЙ	82

ПРИЛОЖЕНИЕ V. ОЦЕНКА СОБЫТИЙ, СВЯЗАННЫХ С НАРУШЕНИЕМ ЭПУ	87
ПРИЛОЖЕНИЕ VI. СПИСОК УЧАСТВУЮЩИХ СТРАН И ОРГАНИЗАЦИЙ	88

Часть I

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

I-1. ВВЕДЕНИЕ

I-1.1. Исходные положения

Международная шкала ядерных событий (ИНЕС) является средством для оперативного информирования общественности в обоснованной форме о значимости с точки зрения безопасности событий, происходящих на ядерных установках и объектах. Реально характеризуя события, она может способствовать взаимопониманию между ядерным сообществом (специалистами атомной промышленности), средствами массовой информации и общественностью.

Шкала была разработана международной группой экспертов, созданной в 1989 г. совместно МАГАТЭ и Агентством по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития (АЯЭ ОЭСР). В ней также отражен опыт, накопленный при использовании подобных шкал во Франции и Японии, а также при рассмотрении возможных вариантов шкал в ряде других стран.

Вначале шкала применялась в течение пробного периода для классификации событий на атомных электростанциях (АЭС), а затем была расширена и адаптирована так, чтобы охватить все установки и объекты, связанные с гражданской атомной промышленностью. В настоящее время она успешно применяется более чем в 60 странах. Настоящее издание "Руководства для пользователей ИНЕС" может быть использовано для оценки любого события, связанного с радиоактивными веществами и/или радиацией, в том числе во время транспортировки радиоактивных материалов.

I-1.2. Общее описание шкалы

В рамках шкалы события классифицируются по семи уровням: в верхних уровнях (4-7) они называются "авариями", а в нижних уровнях (1-3) – "инцидентами". События, не существенные с точки зрения безопасности, классифицируются ниже шкалы уровнем 0 и называются "отклонениями". События, не имеющие отношения к безопасности, не входят в шкалу и считаются "вне шкалы". Структура шкалы показана на рис.1 в форме матрицы с ключевыми словами, которые здесь не претендуют на точность или строгую определенность. Каждый уровень подробно определяется в Частях III и IV настоящего "Руководства". Рассматриваются три различных сферы воздействия событий, представленные каждым из трех столбцов матрицы: воздействие за пределами площадки, воздействие на площадке и воздействие на глубокоэшелонированную защиту.

Первый столбец матрицы относится к событиям, сопровождающимся выбросом радиоактивности за пределы площадки (АЭС или иного объекта). Очевидно, поскольку это единственно возможное непосредственное воздействие на население, именно такие выбросы больше всего беспокоят общественность. Поэтому нижняя ступень в данном столбце представляет выброс, который приводит к максимальной расчетной дозе облучения критической группы, численно эквивалентной приблизительно десятой доле предельной годовой дозы для населения; это классифицируется уровнем 3. Такая доза обычно составляет около одной десятой среднегодовой дозы от естественного радиационного фона. Высшая ступень в первом столбце соответствует крупной ядерной аварии с обширными последствиями для здоровья населения и для окружающей среды.

	СФЕРА ВОЗДЕЙСТВИЯ		
	ВОЗДЕЙСТВИЕ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ПЛОЩАДКИ	ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПЛОЩАДКЕ	УХУДШЕНИЕ ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННОЙ ЗАЩИТЫ
7 КРУПНАЯ АВАРИЯ	КРУПНЫЙ ВЫБРОС: КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗДОРОВЬЕ И ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ		
6 СЕРЬЕЗНАЯ АВАРИЯ	ЗНАЧИТЕЛЬНЫЙ ВЫБРОС: ВЕРОЯТНО, ТРЕБУЕТСЯ ПОЛНОЕ ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ПРЕДУСМОТРЕННЫХ ПЛАНОВ КОНТРОЛЯ		
5 АВАРИЯ С РИСКОМ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ПЛОЩАДКИ	ОГРАНИЧЕННЫЙ ВЫБРОС: ВЕРОЯТНО, ТРЕБУЕТСЯ ЧАСТИЧНОЕ ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ПРЕДУСМОТРЕННЫХ ПЛАНОВ КОНТРОЛЯ	ТЯЖЕЛОЕ ПОВРЕЖДЕНИЕ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА / РАДИОЛОГИЧЕСКИХ БАРЬЕРОВ	
4 АВАРИЯ БЕЗ ЗНАЧИТЕЛЬНОГО РИСКА ЗА ПРЕДЕЛАМИ ПЛОЩАДКИ	НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫЙ ВЫБРОС: ОБЛУЧЕНИЕ НАСЕЛЕНИЯ НА УРОВНЕ ВЕЛИЧИН, СРАВНИМЫХ С УСТАНОВЛЕННЫМИ ПРЕДЕЛАМИ	ЗНАЧИТЕЛЬНОЕ ПОВРЕЖДЕНИЕ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА / РАДИОЛОГИЧЕСКИХ БАРЬЕРОВ / СМЕРТЕЛЬНОЕ ОБЛУЧЕНИЕ ПЕРСОНАЛА	
3 СЕРЬЕЗНЫЙ ИНЦИДЕНТ	ОЧЕНЬ МАЛЫЙ ВЫБРОС: ОБЛУЧЕНИЕ НАСЕЛЕНИЯ НА УРОВНЕ ДОЛЕЙ УСТАНОВЛЕННЫХ ПРЕДЕЛОВ	ОБШИРНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ / ОСТРЫЕ ЛУЧЕВЫЕ ПОРАЖЕНИЯ ПЕРСОНАЛА	
2 ИНЦИДЕНТ		ЗНАЧИТЕЛЬНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ / ПЕРЕОБЛУЧЕНИЕ ПЕРСОНАЛА	СОБЫТИЯ СО ЗНАЧИТЕЛЬНЫМИ НАРУШЕНИЯМИ МЕР ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
1 АНОМАЛИЯ			ОТКЛОНЕНИЕ ОТ РАЗРЕШЕННОГО РЕЖИМА ЭКСПЛУАТАЦИИ
0 ОТКЛОНЕНИЕ	НЕ СУЩЕСТВЕННО ДЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ		

*Рис.1. Основная структура шкалы
(критерии, указанные в матрице, имеют лишь общий характер)*

Во втором столбце рассматривается воздействие события в пределах площадки (АЭС или иного объекта). Эта категория событий охватывает диапазон от уровня 2 (значительное радиоактивное загрязнение и/или переоблучение персонала) до уровня 5 (серьезное повреждение активной зоны реактора или радиологических барьеров - барьеров радиационной защиты).

Все ядерные объекты проектируются и эксплуатируются так, чтобы последовательные уровни (эшелоны) защиты, которые должны предотвращать опасные воздействия на площадке или за ее пределами, причем, объем предусмотренных мер безопасности, как правило, соразмерен потенциальному риску таких воздействий. Предполагается, что существенные последствия на площадке и за ее пределами могут наступить только после нарушения всех этих эшелонов защиты. Такое построение мер безопасности получило название "глубокоэшелонированной защиты". Третий столбец матрицы относится к инцидентам, при которых произошло нарушение или ухудшение глубокоэшелонированной защиты. Этот столбец охватывает инциденты уровней 1-3.

Событие, воздействие которого затрагивает два или три столбца, всегда оценивается по высшему из достигнутых уровней. События, не достигающие нижнего порога воздействия ни в одном из столбцов, классифицируются ниже шкалы уровнем 0. На рис.2 представлены типичные описания событий на каждом уровне, а также примеры классификации реальных ядерных событий, случившихся в прошлом.

I-1.3. Сфера применения шкалы

Шкала применима к любому событию, связанному с радиоактивным материалом и/или радиацией, и к любому событию во время транспортировки радиоактивных материалов. По шкале не классифицируются промышленные аварии или другие события, не связанные с ядерными или радиационными процессами. Они считаются "вне шкалы". Например, происшествия с турбиной или генератором могут повлиять на оборудование, связанное с безопасностью; но если отказы или нарушения затрагивают только работоспособность турбины или генератора, их следует классифицировать как события вне шкалы. Аналогично могут быть классифицированы вне шкалы такие события, как пожары, если они не влекут за собой какой-либо вероятной радиологической опасности и не затрагивают средств глубокоэшелонированной защиты.

Шкала не применяется к тем мерам и средствам контроля, которые предназначены только для обеспечения гарантий в отношении делящихся материалов. Следует также классифицировать вне шкалы публикуемые случаи в балансе делящихся материалов (так называемый "неучтенный материал").

I-1.4. Использование шкалы

Критерии ядерной и радиационной безопасности и терминология, используемая для их описания, различаются в разных странах, хотя в широком смысле и сравнимы. Международная шкала разработана с учетом этого обстоятельства. Но страны-пользователи, возможно, пожелают внести уточнения или пояснения в шкалу в соответствии со своей национальной практикой.

Процедуры классификации подробно изложены в настоящем "Руководстве". Не следует пользоваться "Листовкой ИНЕС" как основой для оценки событий, так как в ней представлены только примеры событий на каждом уровне, а не строгие определения.

Шкала предназначена для оперативного применения сразу же после происшествия события. Однако возможны ситуации, когда требуется больше времени, чтобы понять и оценить последствия события. В таких редких случаях будет применяться предварительная классификация, с последующим ее подтверждением. Возможно также, что в свете дальнейшей информации потребуется переклассифицировать событие.

УРОВЕНЬ / НАЗВАНИЕ	ХАРАКТЕР СОБЫТИЯ	ПРИМЕРЫ
7 КРУПНАЯ АВАРИЯ	<ul style="list-style-type: none"> Внешний выброс значительной части радиоактивного материала на крупном объекте (например, из активной зоны энергетического реактора). Как правило, этот выброс содержит смесь коротко- и долгоживущих продуктов деления (в количествах, радиологически эквивалентных более чем десяткам тысяч терабеккерелей йода-131). Такой выброс может приводить к острым воздействиям на здоровье людей; отдаленным последствиям для здоровья на обширной территории, возможно, не в одной стране; долговременным экологическим последствиям. 	Чернобыльская АЭС, СССР (теперь Украина), 1986 г.
6 СЕРЬЕЗНАЯ АВАРИЯ	<ul style="list-style-type: none"> Внешний выброс радиоактивного материала (в количествах, радиологически эквивалентных от тысяч до десятков тысяч терабеккерелей йода-131). При таком выбросе вероятно полное осуществление контрмер, предусматриваемых местными планами аварийных мероприятий с целью ограничения серьезных последствий для здоровья. 	Перерабатывающее предприятие в Кьшгтыме, СССР (теперь Россия), 1957 г.
5 АВАРИЯ С РИСКОМ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ПЛОЩАДКИ	<ul style="list-style-type: none"> Внешний выброс радиоактивного материала (в количествах, радиологически эквивалентных от сотен до тысяч терабеккерелей йода-131). При таком выбросе вероятно частичное осуществление контрмер, предусматриваемых местными планами аварийных мероприятий с целью снижения вероятности последствий для здоровья. Тяжелое повреждение установки. Это может быть связано с серьезным повреждением значительной части активной зоны энергетического реактора, крупной аварией с превышением критичности, крупным пожаром или взрывом с утечкой больших количеств радиоактивности на установке. 	Реактор в Уиндскейле, Великобритания, 1957 г. АЭС "Три-Майл-Айленд", США, 1979 г.
4 АВАРИЯ БЕЗ ЗНАЧИТЕЛЬНОГО РИСКА ЗА ПРЕДЕЛАМИ ПЛОЩАДКИ	<ul style="list-style-type: none"> Внешний выброс радиоактивности, сопровождающийся максимальной дозой облучения критической группы порядка нескольких миллизивертов^a. При таком выбросе, как правило, необходимость защитных мероприятий за пределами площадки маловероятна, за исключением, возможно, местного контроля продуктов питания. Значительное повреждение установки. Такая авария может включать в себя повреждение ядерной установки, которое серьезно затрудняет восстановительные работы, например, частичное расплавление активной зоны энергетического реактора и сравнимые события на нереакторных установках. Переоблучение одного или нескольких работников с высокой вероятностью ранней смерти. 	Перерабатывающее предприятие в Уиндскейле, Великобритания, 1973 г. АЭС "Сен-Леран", Франция, 1980 г. Критическая сборка в Буэнос-Айресе, Аргентина, 1983 г.

(продолжение рисунка на следующей странице)

<p style="text-align: center;">3 СЕРЬЕЗНЫЙ ИНЦИДЕНТ</p>	<ul style="list-style-type: none"> Внешний выброс радиоактивности, приводящий к дозе облучения критической группы порядка десятых долей миллизиверта^a. При таком выбросе защитные мероприятия за пределами площадки могут не потребоваться. События на площадке, приводящие к дозам облучения персонала, достаточным для острых воздействий на здоровье, и/или событие, приводящее к значительному распространению загрязнения, например, к утечке нескольких тысяч терабеккерелей активности во вторичную защитную оболочку, когда материал может быть возвращен в зону безопасного хранения. События, при которых дальнейший отказ систем безопасности может привести к аварийным условиям, или ситуация, при которой системы безопасности будут не в состоянии предотвратить аварию в случае возникновения определенных исходных событий. 	<p>АЭС "Вандельос", Испания, 1989 г.</p>
<p style="text-align: center;">2 ИНЦИДЕНТ</p>	<ul style="list-style-type: none"> События со значительными нарушениями мер обеспечения безопасности, но при сохранении достаточной глубокоэшелонированной защиты, чтобы справиться с дополнительными отказами. Сюда входят и события, при которых фактические нарушения могли бы оцениваться уровнем 1, но при этом обнаруживаются значительные дополнительные организационные несоответствия или недостатки в культуре безопасности. Событие, приводящее к облучению работника, превышающему установленную годовую предельную дозу, и/или событие, которое приводит к наличию значительных количеств радиоактивности в зонах, не предназначенных для этого по проекту, и требует проведения корректирующих мер. 	
<p style="text-align: center;">1 АНОМАЛИЯ</p>	<ul style="list-style-type: none"> Отклонение от разрешенного режима эксплуатации, но с существенным сохранением глубокоэшелонированной защиты. Оно может быть вызвано отказом оборудования, ошибкой человека или процедурными несоответствиями, и может возникнуть в любой области деятельности, охватываемой шкалой, например, в эксплуатации установки, транспортировке радиоактивного материала, обращении с топливом, хранении отходов. Примеры включают: нарушения технических условий или правил транспортировки; инциденты без прямых последствий для безопасности, указывающие на недостатки в организационной системе или в культуре безопасности; незначительные дефекты в трубопроводах, не предусмотренные программой контроля. 	
<p style="text-align: center;">ОТКЛОНЕНИЕ 0</p>	<ul style="list-style-type: none"> Отклонения, при которых не нарушаются эксплуатационные пределы и условия, и которые устраняются должным образом в соответствии с адекватными процедурами. Примеры включают: единичный случайный отказ в резервируемой системе, обнаруженный во время периодических инспекций или испытаний; запланированная и нормально осуществленная быстрая остановка реактора; ложное включение систем защиты без значительных последствий; небольшое распространение загрязнений в контролируемых зонах, без последствий для культуры безопасности. 	

^a Дозы облучения выражаются эффективной эквивалентной дозой (облучение тела). Эти критерии могут также выражаться в терминах соответствующих пределов годовых выбросов радиоактивности, разрешенных национальными компетентными органами.

Рис.2. Международная шкала ядерных событий для оперативного сообщения о значимости событий с точки зрения безопасности

Хотя одна и та же шкала применяется для всех ядерных установок, на некоторых из них физически невозможны события, сопровождающиеся выбросом в окружающую среду значительных количеств радиоактивного вещества. Для таких установок не применяются верхние уровни шкалы. Примерами могут служить исследовательские реакторы, устройства для операций с необлученным ядерным топливом, хранилища отходов.

Шкала не заменяет собой критериев, уже принятых в национальном и международном масштабе для технического анализа и учета событий органами надзора за безопасностью. Она также не составляет часть официальных аварийных мероприятий, которые предусматриваются в каждой стране для преодоления радиационных аварий.

Шкала не может служить основой для отбора событий с целью использования эксплуатационного опыта, так как зачастую важные уроки могут быть извлечены из событий, которые сами по себе относительно мало значимы с точки зрения безопасности.

Наконец, не следует использовать шкалу и для сравнения уровня безопасности в разных странах. В каждой стране имеется собственный порядок информирования населения о незначительных событиях, и трудно обеспечить строгое международное согласие в классификации событий, близких к границе между уровнем 0 и уровнем 1. Хотя, в основном, будет доступна информация о событиях уровня 2 и выше по шкале, но статистически малое число таких событий, к тому же меняющееся год от года, затрудняет подобные сравнения на международном уровне.

I-1.5. Примеры классифицированных событий

В 1986 г. авария на Чернобыльской АЭС в СССР (теперь на территории Украины) привела к крупномасштабным воздействиям на окружающую среду и здоровье людей. Она классифицирована уровнем 7.

В 1957 г. авария на предприятии по переработке ядерного топлива в районе Кыштыма в СССР (теперь на территории России) привела к мощному выбросу радиоактивного материала за пределы площадки. Были проведены аварийные мероприятия, включая эвакуацию населения, чтобы ограничить серьезные воздействия на здоровье людей. По воздействию за пределами площадки это событие классифицировано уровнем 6.

В 1957 г. авария на графитовом реакторе в Уиндскейле (теперь Селлафилд) в Великобритании сопровождалась внешним выбросом радиоактивных продуктов деления. Это событие классифицировано уровнем 5 по воздействию за пределами площадки.

В 1979 г. авария на АЭС "Три-Майл-Айленд" в США привела к серьезному повреждению активной зоны реактора. Выброс радиоактивности за пределы площадки был весьма ограниченным. Это событие классифицировано уровнем 5 по воздействию на площадке.

В 1973 г. авария на предприятии по переработке ядерного топлива в Уиндскейле (теперь Селлафилд) в Великобритании сопровождалась выбросом радиоактивного материала в зону обслуживания установки в результате экзотермической реакции в технологической емкости. Событие классифицировано уровнем 4 по воздействию на площадке.

В 1980 г. авария на АЭС "Сен-Леран" во Франции привела к частичному повреждению активной зоны реактора, но без внешнего выброса радиоактивности. Событие классифицировано уровнем 4 по воздействию на площадке.

В 1983 г. на критической сборке RA-2 в Буэнос-Айресе в Аргентине произошел аварийный разгон мощности вследствие несоблюдения правил безопасности при изменении активной зоны. Погиб оператор, который находился в 3-4 м от активной зоны и, по оценке, получил гамма-дозу 21 Гр и нейтронную дозу 22 Гр. Событие классифицировано уровнем 4 по воздействию на площадке.

В 1989 г. происшествие на АЭС "Вандельос" в Испании не сопровождалось ни внешним выбросом радиоактивности, ни повреждением активной зоны реактора или радиоактивным загрязнением на площадке. Однако повреждение систем безопасности АЭС вследствие пожара значительно ухудшило состояние глубокоэшелонированной защиты. Событие классифицируется уровнем 3 по критерию ухудшения глубокоэшелонированной защиты.

Подавляющее большинство учитываемых событий классифицируется ниже уровня 3. Хотя здесь не приводятся такие примеры, возможно, что страны, использующие шкалу, пожелают дать примеры событий, классифицируемых на этих нижних уровнях.

I-1.6. Структура "Руководства"

Настоящее "Руководство" состоит из шести частей:

- в Части I дано краткое описание шкалы;
- в Части II представлены последовательные процедуры классификации событий и порядок сообщения о них в Информационную службу ИНЕС;
- в Части III даются подробные указания о классификации событий по воздействию за пределами площадки и на площадке;
- в Части IV даются подробные указания о классификации событий по воздействию на глубокоэшелонированную защиту;
- Часть V состоит из примеров, иллюстрирующих использование указаний для классификации событий;
- Часть VI содержит ряд приложений с более подробной информацией о некоторых аспектах шкалы.

Часть II

ПРОЦЕДУРА КЛАССИФИКАЦИИ СОБЫТИЙ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ В МАГАТЭ

II-1. ПРОЦЕДУРА ОЦЕНКИ

Схемы, приведенные ниже, кратко описывают процедуру классификации любого события, связанного с радиоактивными веществами и/или радиацией, как и любого события, случившегося во время транспортировки радиоактивных материалов. Схемы построены так, чтобы показать логическую последовательность оценки значимости любого события с точки зрения безопасности. Они дают общее представление о процедуре тем, кому впервые предстоит классифицировать ядерные события, и могут служить конспектом для тех, кто хорошо знаком с "Руководством для пользователей ИНЕС". Очевидно, при практическом использовании схем необходимы подробные указания, приведенные в Частях III и IV. Компьютерная программа INESAR ("Автоматическая классификация по ИНЕС") была разработана на основе аналогичной прежней схемы.

II-2. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ О СОБЫТИЯХ В ИНФОРМАЦИОННУЮ СЛУЖБУ МАГАТЭ

Национальный координатор ИНЕС обязуется настолько это возможно скорее (целевая задача: в течение 24 часов) сообщить официальную информацию о последствиях события всем странам-участникам (см. Приложение VI) через Информационную службу ИНЕС МАГАТЭ. События, подлежащие сообщению, определяются следующими критериями:

- (a) события, классифицированные уровнем 2 и выше;
- (b) события, привлекающие международный общественный интерес.

Информация представляется в определенной форме с помощью "Формуляра оценки события", который можно получить из МАГАТЭ. Заполненный формуляр направляется в Информационную службу ИНЕС МАГАТЭ по двум взаимно дублирующим каналам: факсимильный аппарат и электронная почта. Информационная служба ИНЕС действует постоянно и поэтому может обеспечить распространение формуляра в любое время.

СХЕМА 1

Процедуры классификации по ИНЕС

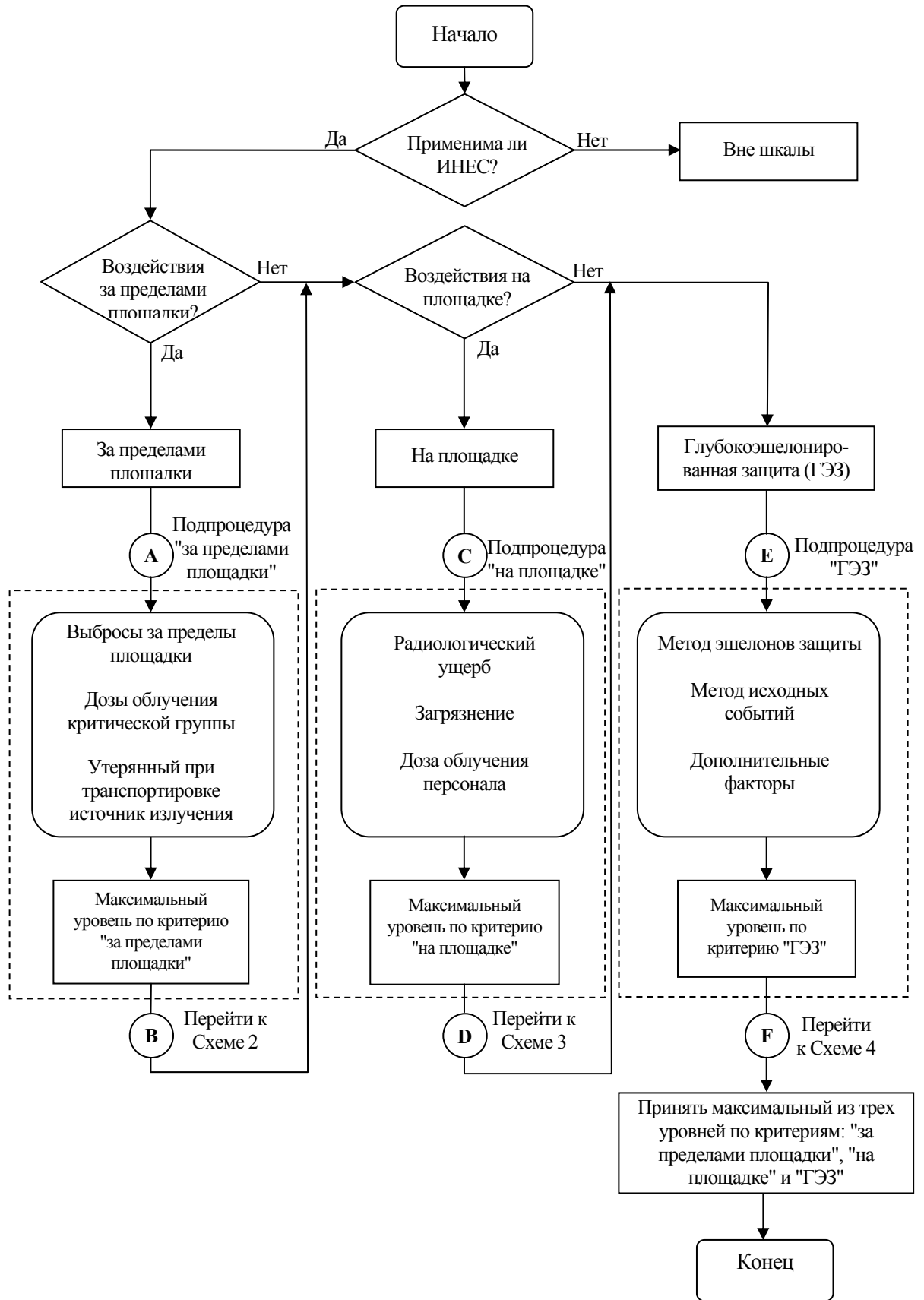


СХЕМА 2

Подпроцедура "за пределами площадки"

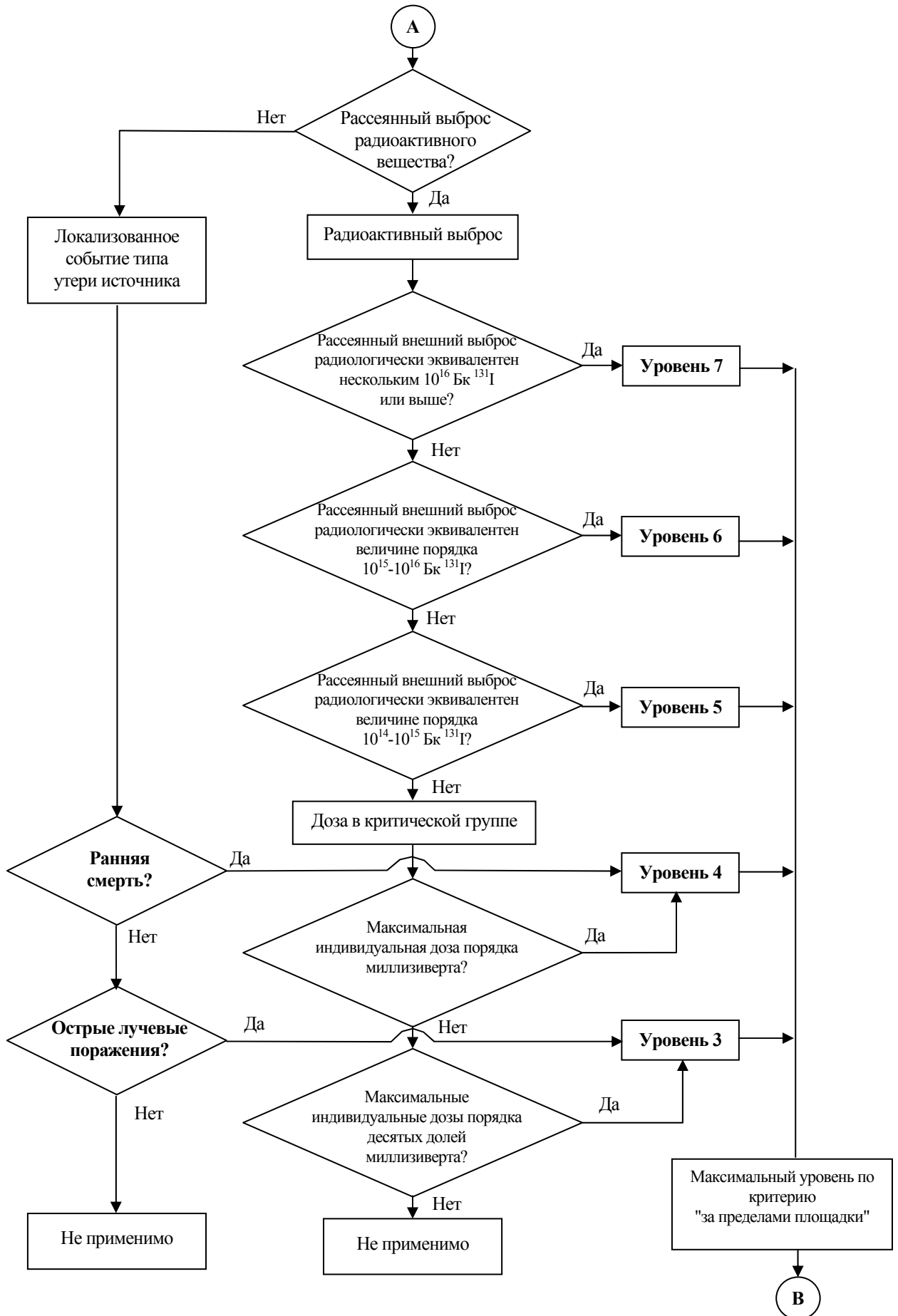
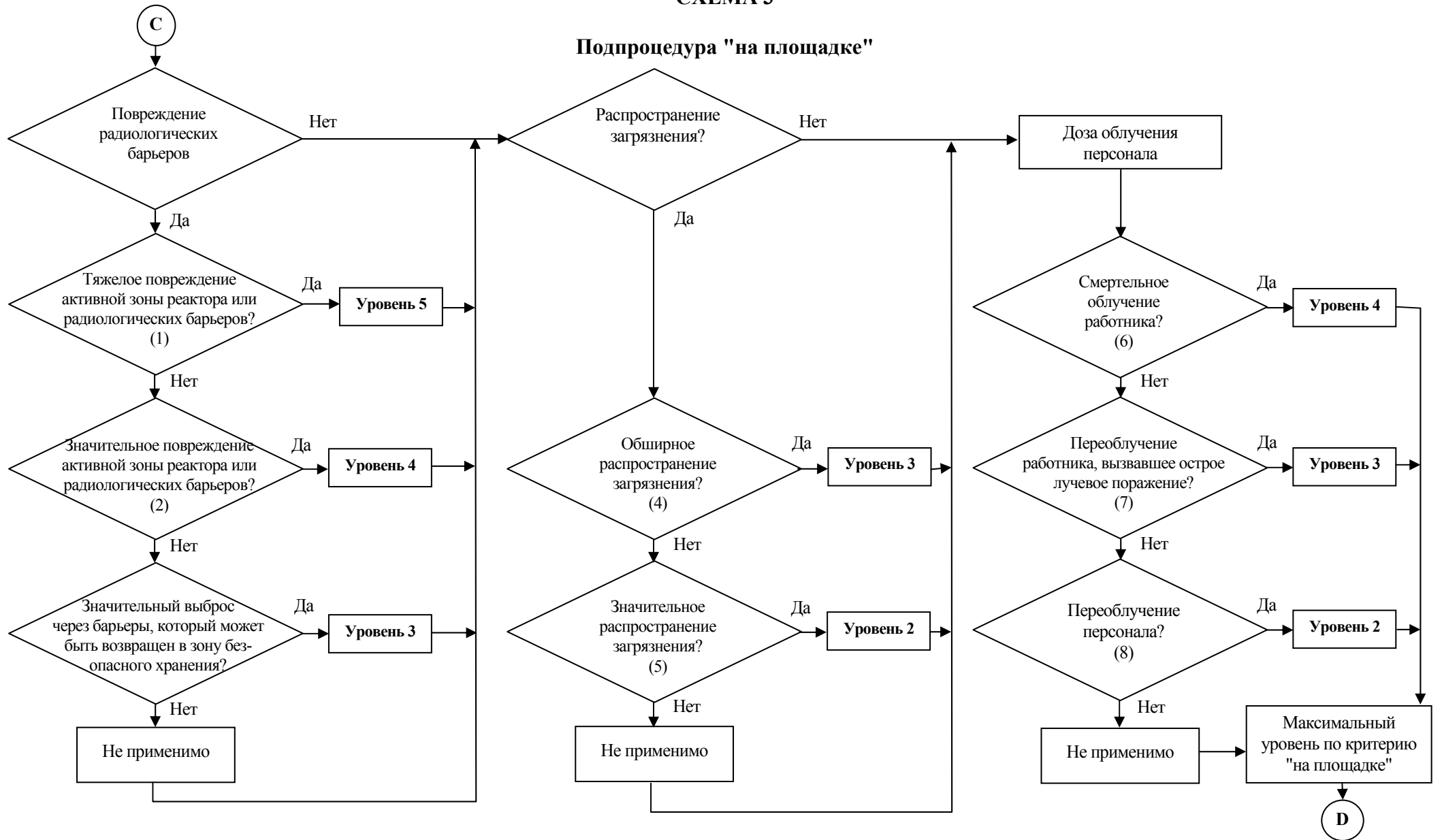


СХЕМА 3

Подпроцедура "на площадке"



Примечания к Схеме 3

1. Расплавилось более чем несколько процентов топлива или произошла утечка более чем нескольких процентов материала из тепловыделяющих сборок. Аварии на других установках, сопровождающиеся большой утечкой радиоактивности на площадке (сравнимой с выбросом из расплавленной активной зоны) и серьезной угрозой для радиологической безопасности за пределами площадки.
2. Любое частичное расплавление топлива или утечка более 0,1% материала из тепловыделяющих сборок энергетического реактора. События на нереакторных установках, сопровождающиеся выбросом (утечкой) нескольких тысяч терабеккерелей активности из их первичной оболочки, когда невозможно вернуть этот активный материал в зону безопасного хранения.
3. События, сопровождающиеся выбросом (утечкой) нескольких тысяч терабеккерелей активности во вторичную защитную оболочку, откуда материал может быть возвращен в зону безопасного хранения.
4. События, вызывающие такую мощную дозу или уровень загрязнения, при которых один или несколько работников легко могут получить дозу, приводящую к острым лучевым поражениям (например, экспозиционная доза на все тело порядка 1 Гр или на поверхности тела порядка 10 Гр).
5. Событие, вызывающее суммарную мощность дозы гамма- и нейтронного излучения в обслуживаемой зоне установки (мощность дозы измеряется на расстоянии 1 м от источника). Событие, которое приводит к наличию значительных количеств радиоактивности на установке (объекте) в зонах, где это не предусмотрено проектом (см. Раздел III-2.3), и требует принятия корректирующих мер. В данном контексте "значительное количество" следует интерпретировать как: (а) загрязнение жидкостями с суммарной активностью, радиологически эквивалентной нескольким сотням гигабеккерелей рутения-106; (б) выброс твердого радиоактивного материала в количестве, радиологически эквивалентном нескольким сотням гигабеккерелей рутения-106, вызывающий уровни поверхностного и аэрозольного загрязнения, которые в 10 раз превышают допустимые для контролируемых зон; (с) выброс аэрозольного радиоактивного материала внутри здания в количестве, радиологически эквивалентном нескольким десяткам гигабеккерелей йода-131.
6. Внешнее переоблучение одного или нескольких работников, которое приводит к высокой вероятности ранней смерти (около 5 Гр).
7. События, вызывающие такую мощность дозы или уровень загрязнения, при которых один или несколько работников получают дозу, приводящую к острым лучевым поражениям (например, экспозиционная доза на все тело порядка 1 Гр или на поверхности тела порядка 10 Гр).
8. Событие, в результате которого доза облучения одного или нескольких работников превышает предельную годовую дозу, установленную Международной комиссией по радиационной защите (МКРЗ) для работ, связанных с радиацией. Событие, в результате которого требуются существенные меры, чтобы предупредить получение доз, на порядок превышающих годовой предел.

СХЕМА 4

Подпроцедура "глубокоэшелонированная защита" (ГЭЗ)

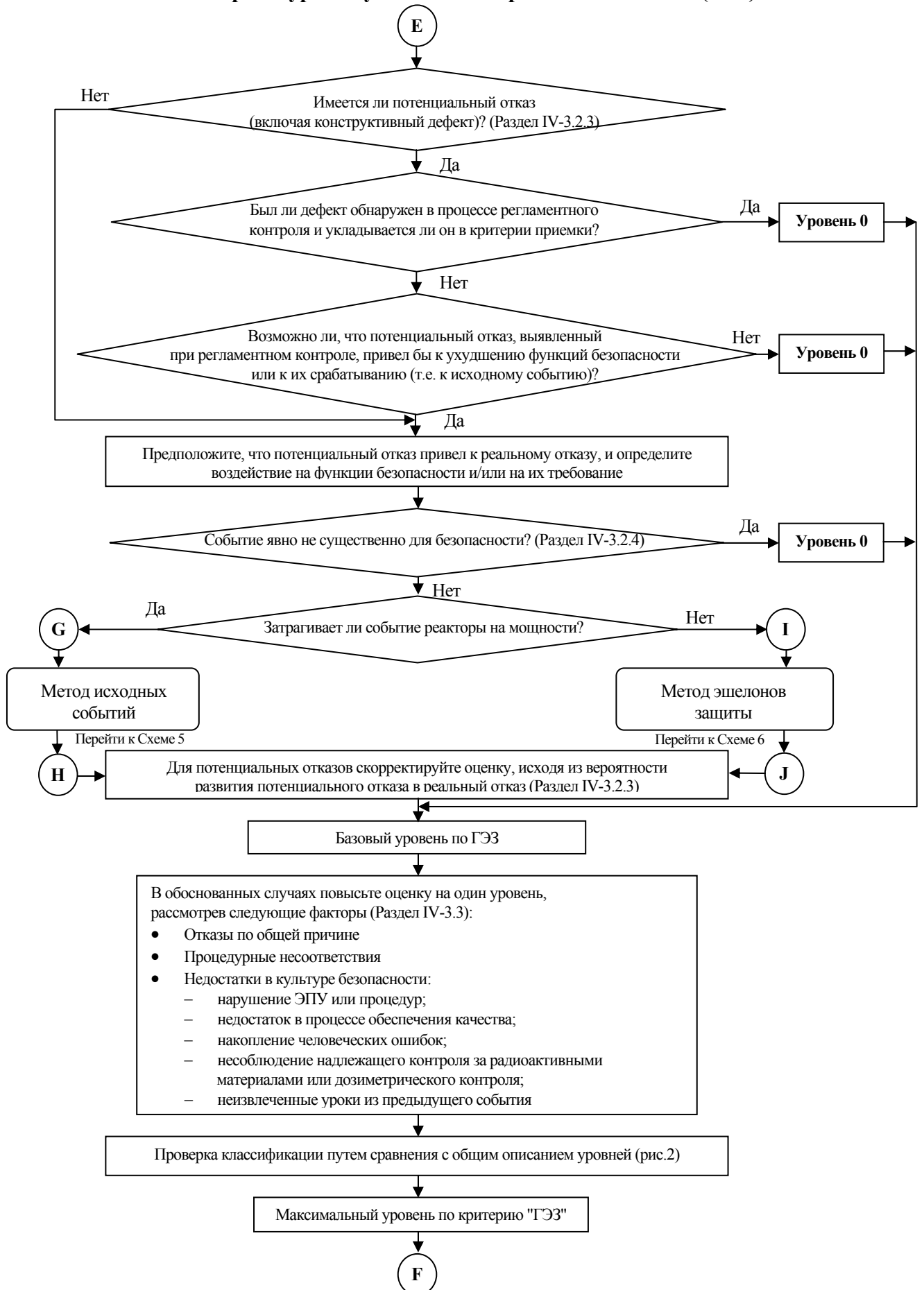
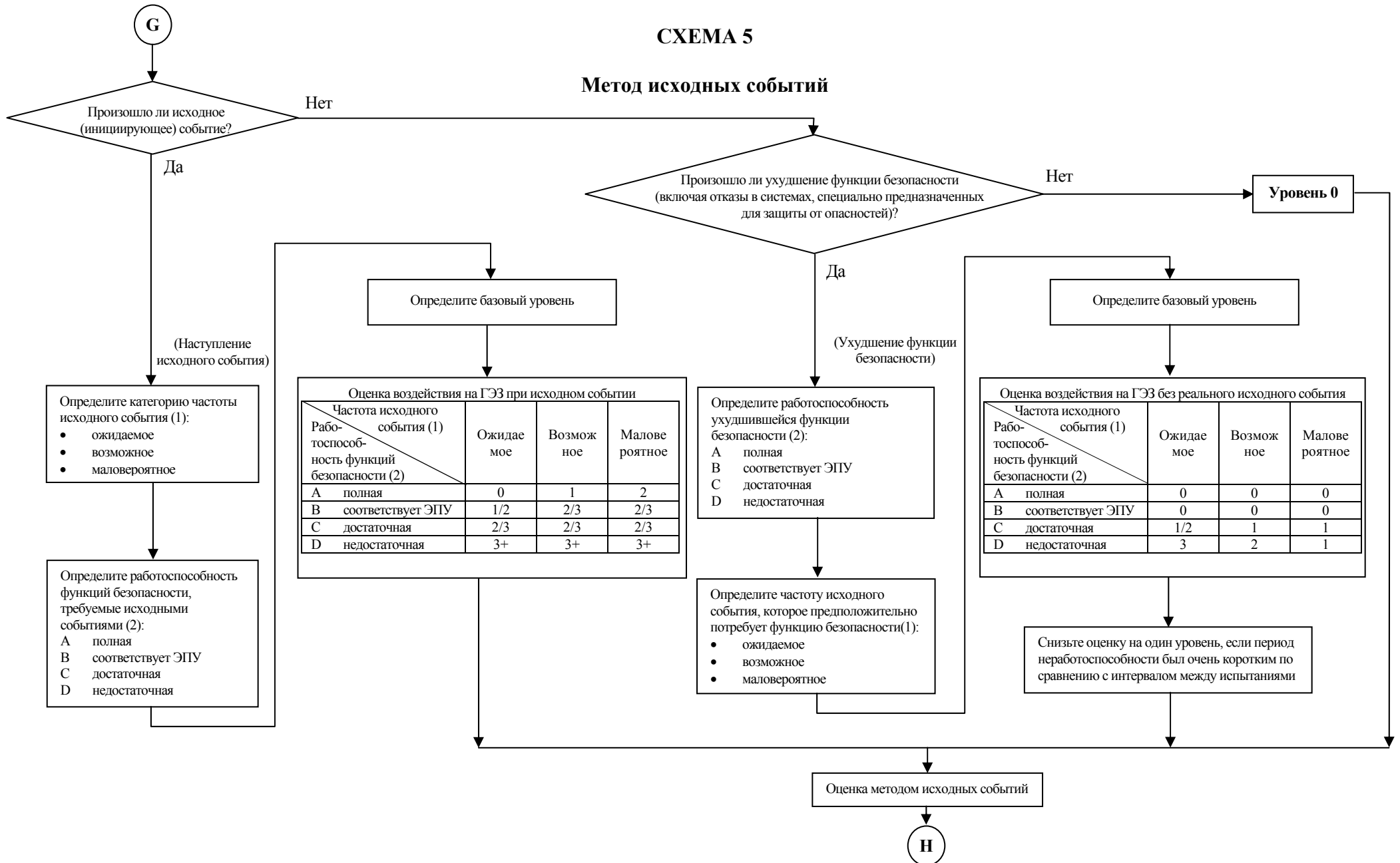


СХЕМА 5

Метод исходных событий

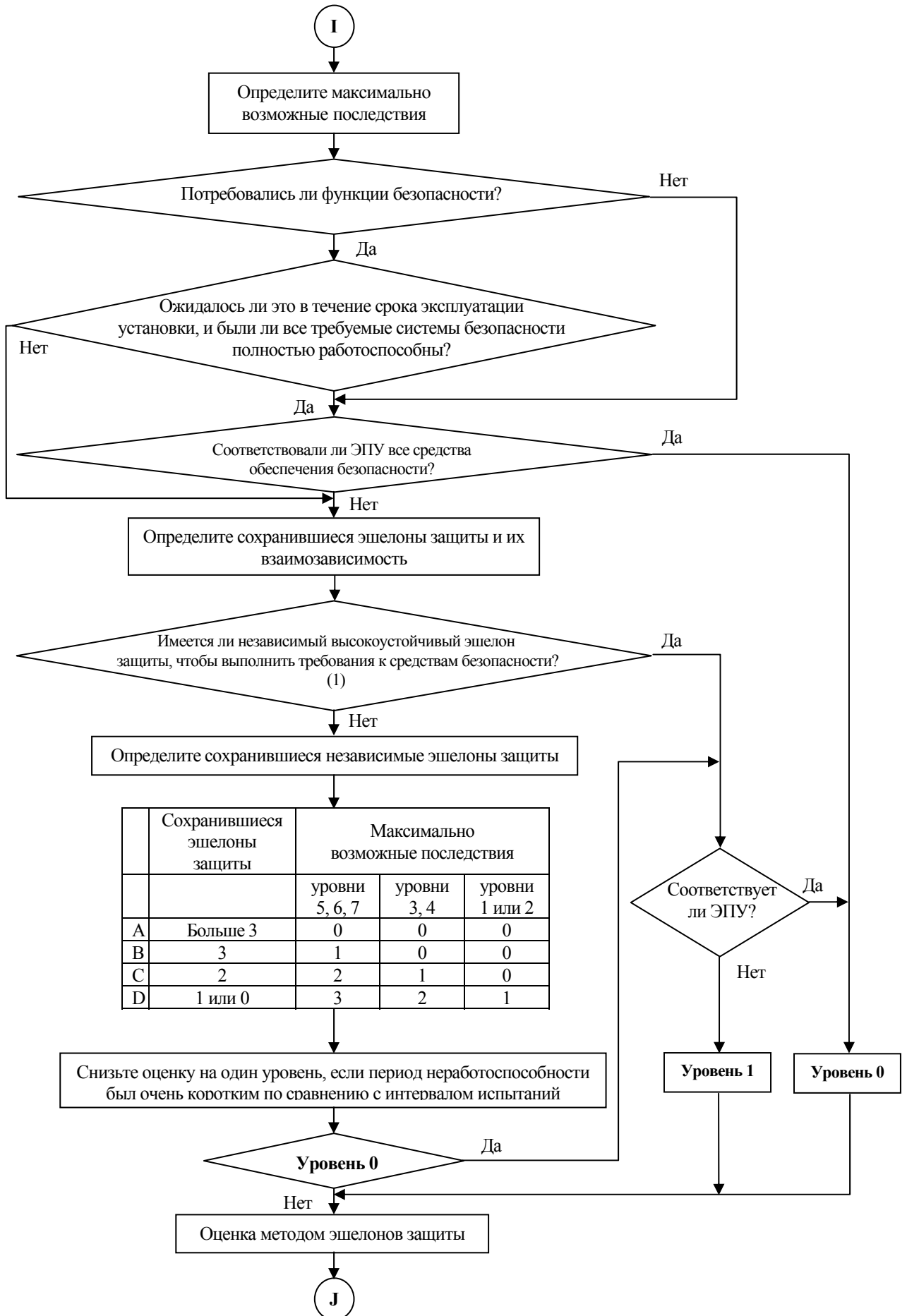


Примечания к Схеме 5

1. Определение исходного события и его частоты. Исходным является событие, которое затрагивает системы безопасности и требует выполнения ими своих функций. На практике исходное (инициирующее) событие может не совпадать с тем происшествием, с которого начинается классифицируемое событие. Исходные события разделяются по частоте на следующие категории:
 - ожидаемые: исходные события, наступление которых ожидается один или несколько раз за весь срок эксплуатации установки;
 - возможные: исходные события, которые не "ожидаются", но их предполагаемая вероятность за срок эксплуатации превышает уровень около 1% (т.е. около $3 \cdot 10^{-4}$ /год);
 - маловероятные: исходные события, рассматриваемые в проекте установки, которые менее вероятны, чем указанные выше.
2. Работоспособность (готовность) функции безопасности. Имеются три основных функции безопасности: (а) управление реактивностью или условиями технологического процесса; (б) охлаждение радиоактивного материала; (с) удержание радиоактивного материала. Функция выполняется системами безопасности, в том числе вспомогательными системами, такими как электропитание, охлаждение и питание контрольно-измерительных приборов. Для классификации событий рассматриваются четыре уровня работоспособности:
 - А - полная: все системы безопасности и оборудование, которые предусмотрены проектом, чтобы преодолеть последствия определенного исходного события, полностью работоспособны;
 - В - минимально требуемая (согласно эксплуатационным пределам и условиям – ЭПУ): минимальная работоспособность систем безопасности, которая требуется в соответствии с ЭПУ для дальнейшей работы на мощности, даже в течение ограниченного времени;
 - С - достаточная: уровень работоспособности систем безопасности, достаточный для выполнения определенной функции безопасности при рассматриваемом исходном событии;
 - Д - недостаточная: ухудшение работоспособности систем безопасности таково, что функция безопасности не может быть выполнена.

СХЕМА 6

Метод эшелонов защиты



Примечания к Схеме 6

1. Высокоустойчивый эшелон защиты должен обладать всеми следующими характеристиками:
 - (a) Такой эшелон защиты рассчитан на преодоление всех проектных недостатков и указан или подразумевается в обосновании безопасности установки как требующий особенно высокого уровня надежности или целостности.
 - (b) Целостность эшелона защиты обеспечивается соответствующим контролем или проверками таким образом, что выявляется любое ухудшение целостности.
 - (c) Если обнаружено любое ухудшение эшелона защиты, то имеются определенные средства, чтобы справиться с нарушением и осуществить корректирующие меры – либо по заранее установленным процедурам, либо благодаря длительному располагаемому времени для ослабления последствий нарушения.

Часть III

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ПЛОЩАДКИ И НА ПЛОЩАДКЕ

III-1. ВОЗДЕЙСТВИЕ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ПЛОЩАДКИ

III-1.1. Общее описание

Оценка событий по воздействию за пределами площадки отражает фактическое радиологическое воздействие вне площадки ядерной установки (объекта). Оно может быть выражено величинами выброса (утечки) радиоактивности из объекта или расчетной дозы облучения лиц из населения. Признано, что при значительной аварии на объекте невозможно на ранней стадии точно определить величину выброса за пределы площадки. Однако можно охарактеризовать выброс в более широких понятиях и таким образом предварительно оценить аварию тем или иным уровнем шкалы. Возможно, последующая переоценка выброса потребует пересмотреть первоначальную оценку уровня по шкале.

Важно отметить, что масштаб аварийных мероприятий не применяется как основание для классификации. Конкретные планы действий при авариях на АЭС различны в разных странах, и в некоторых случаях могут быть приняты предупредительные меры, не вполне оправданные фактической величиной выброса. По этим причинам при классификации события, т.е. определении уровня по шкале, следует исходить из величины выброса и оценки дозы, а не из объема мер защиты, принятых по аварийным планам.

Было выбрано пять уровней: начиная с уровня 7, когда выброшена большая доля материала активной зоны ядерного реактора АЭС, до уровня 3, когда доза облучения лица из населения численно эквивалентна приблизительно одной десятой предела годовой дозы. Для определения уровней 3 и 4 служит ожидаемая полувековая доза облучения критической группы населения. Уровни от 5 до 7 характеризуются количеством выброшенной активности, радиологически эквивалентным определенному числу терабеккерелей йода-131. Параметр оценки здесь изменен потому, что при таких больших выбросах фактически полученная доза будет очень сильно зависеть от принимаемых контрмер.

При установлении уровней для выбросов исходили из того, что с учетом вероятных контрмер выброс уровня 5 может давать дозы приблизительно в 10 раз выше, чем при уровне 4. Очевидно, фактическая величина выброса радиоактивности, соответствующая порогу уровня 5, значительно более чем на порядок превышает минимальную величину выброса, которая соответствует аварии уровня 4.

Ниже уровня 3 воздействие за пределами площадки считается несущественным для целей оценки события по шкале. На этих нижних уровнях следует рассматривать только воздействие на площадке и воздействие на глубокоэшелонированную защиту.

При оценке по воздействию за пределами площадки возможны события двух типов, которые учитываются в приведенных ниже определениях. События первого типа характеризуются обширным рассеиванием выбросов, что приводит к малым дозам облучения значительных групп населения. При событиях второго типа, например, связанных с утерей источника радиации или транспортным происшествием, дозы могут быть выше, но затрагивают значительно меньшее число людей. События второго типа специально оговорены в определениях уровней 3 и 4. Определения уровней 5-7 применимы к обоим типам событий.

III-1.2. Определение уровней

Уровень 7. Крупный выброс

Определение: **Внешний выброс, соответствующий количеству радиоактивности, радиологически эквивалентному¹ выбросу в атмосферу нескольких десятков тысяч терабеккерелей йода-131 или более.**

Это соответствует выбросу большой доли материала активной зоны энергетического реактора, обычно содержащего смесь коротко- и долгоживущих радиоактивных продуктов деления. При таком выбросе возможны острые лучевые поражения. Отдаленных последствий для здоровья можно ожидать на обширной территории, даже не в одной стране. Возможны и долгосрочные экологические последствия.

Уровень 6. Значительный выброс

Определение: **Внешний выброс, соответствующий такому количеству радиоактивности, которое радиологически эквивалентно (см. сноску 1) выбросу в атмосферу порядка от тысяч до десятков тысяч терабеккерелей йода-131.**

При таком выбросе весьма вероятно, что будут обоснованы и необходимы защитные мероприятия, такие как укрытие в убежищах и эвакуация, чтобы ограничить последствия для здоровья населения во всей зоне аварийного планирования.

Уровень 5. Ограниченный выброс

Определение: **Внешний выброс, соответствующий такому количеству радиоактивности, которое радиологически эквивалентно (см. сноску 1) выбросу в атмосферу порядка от сотен до тысяч терабеккерелей йода-131.**

Вследствие фактического выброса могут потребоваться некоторые защитные мероприятия, например, локальное укрытие и/или эвакуация, чтобы свести к минимуму вероятность воздействий для здоровья.

Уровень 4. Незначительный выброс

Определение: **Внешний выброс радиоактивности, приводящий к дозе облучения (согласно Разделу III-1.3) в критической группе населения порядка нескольких миллизивертов, либо событие, такое как потеря источника или транспортное происшествие, приводящее к дозе облучения отдельного лица из населения выше 5 Гр (т.е. с высокой вероятностью ранней смерти).**

В результате фактического выброса, как правило, маловероятны защитные мероприятия за пределами площадки, за исключением возможного локального контроля пищевых продуктов. Но могут быть предприняты другие меры, чтобы предупредить дальнейшее ухудшение состояния станции (или иного объекта). Это состояние учитывается в других сферах воздействия (на площадке и в глубокоэшелонированной защите).

¹ Понятие "радиологическая эквивалентность" определяется в Разделе III-1.3.

Уровень 3. Очень малый выброс

Определение: **Внешний выброс радиоактивности, приводящий к дозе облучения (согласно Разделу III-1.3) в критической группе населения порядка десятых долей миллизиверта, или событие, такое как утеря источника или транспортное происшествие, в результате которого доза облучения лица из населения приводит к острым лучевым поражениям (например, экспозиционная доза на все тело порядка 1 Гр или на поверхности тела порядка 10 Гр).**

После такого фактического выброса не требуются защитные мероприятия за пределами площадки. Но могут быть предприняты другие меры, чтобы предупредить дальнейшее ухудшение состояния станции (или иного объекта). Это состояние учитывается в других сферах воздействия (на площадке и в глубоководной защите).

III-1.3. Расчет радиологической эквивалентности и дозы

При уровнях от 5 до 7 вероятно введение запрета на пищевые продукты, поэтому относительную радиологическую значимость выброса в атмосферу следует оценивать путем сравнения суммарной ожидаемой эффективной дозы по всем нуклидам от ингаляции, внешней дозы от прохождения радиоактивного облака и долгосрочного внешнего облучения от радиоактивных выпадений, т.е. от поступления радиоактивности всеми путями, кроме пищевого (путем приема пищи). В табл. I приведены коэффициенты относительной эффективности основных изотопов, вычисленные при допущениях, которые представлены в Приложении I. Фактическую активность в выбросе следует умножить на этот коэффициент и затем сравнить с величинами, указанными в определениях каждого уровня.

При уровнях 3 и 4 запрет пищевых продуктов маловероятен или весьма ограничен, поэтому относительная радиологическая значимость оценивается путем сравнения с ожидаемой эффективной дозой, полученной всеми путями в критической группе населения. При этом следует использовать допущения, принятые в национальных нормах для оценки независимо от направления ветра и времени года при выбросе. Коэффициенты из табл. I не применяются для уровней 3 и 4, поскольку поступление активности путем приема пищи будет зависеть от местной сельскохозяйственной практики.

Утечки радиоактивных жидкостей, приводящие в критической группе населения к дозам значительно выше соответствующих уровню 4, следует оценивать уровнем 5 или выше, но такое воздействие сильно зависит от местных условий, и поэтому здесь невозможно дать подробные указания.

ТАБЛИЦА I. РАДИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ПЛОЩАДКИ (применяется только для уровней 5-7)

Изотоп	Коэффициент
^3H	0,02
^{131}I	1
^{137}Cs	30
^{134}Cs	20
^{132}Te	0,3
^{54}Mn	4
^{60}Co	50
^{90}Sr	10
^{106}Ru	7
$^{235}\text{U}(\text{S})^{\text{a}}$	800
$^{235}\text{U}(\text{M})^{\text{a}}$	300
$^{235}\text{U}(\text{F})^{\text{a}}$	100
$^{238}\text{U}(\text{S})^{\text{a}}$	700
$^{238}\text{U}(\text{M})^{\text{a}}$	300
$^{238}\text{U}(\text{F})^{\text{a}}$	50
$\text{U}_{\text{прир.}}$	800
^{239}Pu (класс Y)	10000
^{241}Am	9000
Инертные газы	Пренебрежимо мал (практически 0)

^a Типы поглощения в легких: S – медленное; M – среднее; F – быстрое. В случае неопределенности принимается наиболее консервативное значение.

III-2. ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПЛОЩАДКЕ

III-2.1. Общее описание

Классификация событий по критерию воздействия на площадке отражает фактическое воздействие в пределах площадки ядерной установки (объекта), независимо от возможных выбросов за пределы площадки и от влияния на глубокоэшелонированную защиту. Рассматривается степень основного радиологического ущерба, например, повреждение активной зоны реактора, распространение радиоактивных продуктов в пределах площадки, но за предусмотренные проектом границы (защитные оболочки) и дозы облучения персонала.

События, вызвавшие радиологический ущерб, оцениваются по уровням 4 и 5, события, сопровождающиеся радиоактивным загрязнением – по уровням 2 и 3, а события, связанные с высокими дозами облучения персонала – по уровням от 2 до 4. Степень загрязнения определяется величиной мощности дозы от прямого либо рассеянного излучения. Эти критерии характеризуют мощность дозы в обслуживаемой зоне, независимо от фактического присутствия в ней персонала. Их не следует путать с критериями для доз облучения персонала, которые касаются фактически полученных доз.

Допускается, что действительные степень и характер повреждения установки могут быть не вполне известны в течение некоторого времени после аварии с последствиями такого рода на площадке. Однако возможно в более широком смысле оценить вероятность серьезного или незначительного повреждения и на этой стадии предварительно отнести событие к уровню 4 или 5 по шкале. Возможно, последующая переоценка состояния установки потребует и пересмотра первоначальной оценки уровня.

Ниже уровня 2 воздействие на площадке считается несущественным для классификации события по шкале; на этих нижних уровнях шкалы следует рассматривать только воздействие на глубокоэшелонированную защиту.

III-2.2. Определение уровней

Уровень 5. Тяжелое повреждение активной зоны реактора или радиологических барьеров

Определение: Расплавилось более чем несколько процентов топлива в энергетическом реакторе или произошла утечка более чем несколько процентов материала из тепловыделяющих сборок. Инциденты на других установках, сопровождающиеся крупным выбросом на площадке (сравнимым с выбросом из расплавленной активной зоны), с серьезной угрозой для радиологической безопасности за пределами площадки.

Примером нереакторных аварий может быть крупная авария, связанная с надкритичностью, либо крупный пожар или взрыв с выделением большого количества радиоактивности на объекте.

Уровень 4. Значительное повреждение активной зоны реактора или радиологических барьеров, или смертельная доза облучения персонала

Определение: Любое расплавление активной зоны энергетического реактора или утечка более 0,1% материала из тепловыделяющих сборок. События на нереакторных установках с выбросом нескольких тысяч терабеккерелей активности из их первичной оболочки², при невозможности вернуть ее в зону безопасного хранения. Внешнее облучение одного или нескольких лиц из числа персонала с дозой выше 5 Гр (т.е. с высокой вероятностью ранней смерти).

Уровень 3. Обширное радиоактивное загрязнение и/или переоблучение персонала, приводящее к острым лучевым поражениям

Определение: События, вызывающие такую мощность дозы или уровень загрязнения, при которых один или несколько работников легко могут получить дозу, приводящую к острым лучевым поражениям (например, суммарная доза на все тело порядка 1 Гр или на поверхности тела порядка 10 Гр)³. События, приводящие к выделению нескольких тысяч терабеккерелей активности во вторичную оболочку (см. сноску 2), откуда материал может быть возвращен в зону безопасного хранения.

Уровень 2. Значительное загрязнение и/или переоблучение персонала

Определение: События, в результате которых доза облучения одного или нескольких работников превышает нормативно установленную годовую предельную дозу для персонала.

² В данном контексте термины "первичная" и "вторичная" оболочка означают оболочку, вмещающую радиоактивные материалы в нереакторных установках, и их не следует путать с подобными терминами, означающими защитные (противоаварийные) оболочки реактора.

³ Оценка зависит от мощности дозы, времени и мер защиты.

События, в результате которых суммарная мощность дозы гамма- и нейтронного облучения превышает 50 мЗв/ч в обслуживаемой зоне установки (мощность дозы измеряется на расстоянии 1 м от источника).

События, которые приводят к наличию значительных количеств радиоактивности на установке в зонах, где это не предусмотрено проектом (см. определения в конце Части IV), и требуют принятия корректирующих мер. В данном контексте "значительное количество" следует интерпретировать как:

- (a) загрязнение жидкостями, содержащими суммарную активность всех нуклидов, эквивалентную нескольким сотням гигабеккерелей рутения-106;
- (b) выброс твердого радиоактивного материала в количестве, радиологически эквивалентном нескольким сотням гигабеккерелей рутения-106, который приводит к уровням поверхностного и аэрозольного загрязнения, превышающим в 10 раз величины, допустимые для контролируемых зон (см. определения в конце Части IV);
- (c) выброс аэрозольного радиоактивного материала внутри здания в количестве, радиологически эквивалентном нескольким десяткам гигабеккерелей йода-131.

III-2.3. Расчет радиологической эквивалентности

При расчете радиологической эквивалентности по воздействию на площадке следует использовать допущения, представленные в Приложении I. Коэффициенты относительной эффективности основных изотопов, вычисленные при таких допущениях, приведены в табл. II. Фактическую активность в выбросе следует умножить на этот коэффициент, и затем сравнить ее с величинами, указанными в определениях каждого уровня для йода-131 или рутения-106.

ТАБЛИЦА II. РАДИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ПЛОЩАДКЕ

Изотоп	Коэффициент эквивалентности по ^{131}I	Коэффициент эквивалентности по ^{106}Ru
^3H	0,002	0,0006
^{131}I	1	0,3
^{137}Cs	0,6	0,2
^{134}Cs	0,9	0,3
^{132}Te	0,3	0,1
^{54}Mn	0,1	0,03
^{60}Co	1,5	0,5
^{90}Sr	7	2
^{106}Ru	3	1
$^{235}\text{U}(\text{S})^{\text{a}}$	600	700
$^{235}\text{U}(\text{M})^{\text{a}}$	200	200
$^{235}\text{U}(\text{F})^{\text{a}}$	50	20
$^{238}\text{U}(\text{S})^{\text{a}}$	500	30
$^{238}\text{U}(\text{M})^{\text{a}}$	100	170
$^{238}\text{U}(\text{F})^{\text{a}}$	50	20
$\text{U}_{\text{прир.}}$	600	200
^{239}Pu (класс Y)	9000	3000
^{241}Am	2000	700
Инертные газы	Пренебрежимо мал (практически 0)	Пренебрежимо мал (практически 0)

^a Типы поглощения в легких: S – медленное; M – среднее; F – быстрое. В случае неопределенности принимается наиболее консервативное значение.

Часть IV

ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННУЮ ЗАЩИТУ

Эта часть "Руководства" состоит из трех основных разделов. В первом кратко представлена концепция глубокоэшелонированной защиты. Вероятно, она хорошо известна большинству читателей. Во втором разделе излагаются общие принципы оценки событий по их воздействию на глубокоэшелонированную защиту. Они должны охватывать широкий круг различных типов установок (объектов) и событий, поэтому неизбежно носят общий характер. Для обеспечения последовательного и согласованного применения общих правил в третьем разделе даются более подробные указания. В следующей Части V методика оценки конкретизируется для определенных типов событий, а также приведен ряд примеров классификации реальных событий.

IV-1. ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Предотвращение радиологических аварий и инцидентов и, тем самым, повышение безопасности ядерной установки основывается на качественных аспектах проектирования и эксплуатации. Концепция глубокоэшелонированной защиты в общем применима к обоим этим аспектам и учитывает возможность отказа оборудования, ошибки человека и незапланированного развития событий.

Определение глубокоэшелонированной защиты, сформулированное Международной консультативной группой по ядерной безопасности, гласит:

"Для компенсации потенциальных ошибок человека и механических отказов реализуется концепция глубокоэшелонированной защиты, опирающаяся на несколько уровней защиты и включающая последовательные барьеры, препятствующие выходу радиоактивных веществ в окружающую среду. Эта концепция включает защиту барьеров для предотвращения повреждения установки и самих барьеров. Она включает дальнейшие меры защиты населения и окружающей среды от ущерба в случае, если эти барьеры окажутся не вполне эффективными"⁴.

Подобные средства глубокоэшелонированной защиты предусматриваются на всех ядерных установках и при транспортировке ядерных материалов. Они охватывают защиту населения и персонала, включают меры и средства, предупреждающие перенос материала в слабо защищенные участки, а также выброс (утечку) радиоактивности. Глубокоэшелонированная защита, таким образом, представляет собой комбинацию консервативного проектирования, обеспечения качества, деятельности по надзору и контролю, средств ограничения последствий и общей культуры безопасности, которая укрепляет каждый из последовательных уровней (эшелонов) защиты.

Безопасная эксплуатация поддерживается тремя основными функциями безопасности:

- (a) управление реактивностью или условиями технологического процесса,
- (b) охлаждение радиоактивного материала,
- (c) удержание радиоактивного материала.

⁴ Международная консультативная группа по ядерной безопасности. "Основные принципы безопасности атомных электростанций". Серия изданий МАГАТЭ по безопасности № 75-INSAG-3, Rev.1, INSAG-12. МАГАТЭ, Вена, 1999 г., с.17.

В свою очередь, каждая из этих функций безопасности обеспечивается правильным проектированием, хорошо регулируемой эксплуатацией и комплексом технических систем и административных мер контроля. В рамках обоснования безопасности станции технологические (эксплуатационные) системы могут отличаться от средств безопасности; если технологические системы откажут, то будут действовать дополнительные средства безопасности, чтобы сохранить функцию безопасности. Такими средствами могут быть либо процедуры и административные меры управления и контроля, либо пассивные или активные системы, которые обычно предусматриваются с избыточностью (резервированием), а их готовность регламентируется эксплуатационными пределами и условиями (ЭПУ).

Частота требований на срабатывание средств безопасности сводится к минимуму посредством правильного проектирования, эксплуатации, технического обслуживания и ремонта, надзора и т.д. Например, частота отказов первого контура реактора минимизируется за счет проектных запасов надежности, контроля и качества, эксплуатационных ограничений, надзора и т.д. Аналогично, частота переходных режимов реактора минимизируется эксплуатационными процедурами, системами управления и т.д. Нормальные технологические и управляющие системы способствуют минимальному использованию средств безопасности.

В некоторых ситуациях невозможно существенно уменьшить частоту использования средств безопасности: например, попытка войти в помещение, где могут находиться источники излучения. В таких случаях функции безопасности обеспечиваются только достаточно устойчивыми средствами безопасности.

IV-2. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ КЛАССИФИКАЦИИ СОБЫТИЙ

Данные указания применимы к широкому кругу ядерных установок (объектов), притом количество радиоактивных веществ и временной масштаб инцидентов на таких установках тоже могут различаться в широких пределах. Эти важные факторы необходимо учитывать при классификации событий, неизбежно прибегая при этом к экспертной оценке, т.к. указания носят общий характер. Более конкретные указания даются в последующих разделах.

Хотя в шкале ИНЕС отведены три уровня выше 0 для воздействия на глубокоэшелонированную защиту, для некоторых установок (объектов) максимально возможные последствия на площадке или за ее пределами ограничены имеющимся количеством радиоактивности и механизмом выброса (утечки). Очевидно, максимально возможный уровень, характеризующий ухудшение глубокоэшелонированной защиты, когда авария была предупреждена, должен быть ниже, чем максимально возможный уровень по воздействию на площадке или за ее пределами. Если максимально возможный уровень на площадке или за ее пределами при конкретном источнике радиоактивности не может быть выше 4 по шкале ввиду ограниченных потенциальных последствий, то максимальная оценка по глубокоэшелонированной защите соответствует уровню 2. Аналогично, если максимально возможный уровень не может быть выше уровня 2, то максимальная оценка по глубокоэшелонированной защите – уровень 1.

Конечно, на одной и той же площадке может проводиться ряд различных операций, и в данном контексте каждую из них нужно рассматривать в отдельности. Например, хранение отходов и эксплуатацию реактора следует учитывать как отдельные операции, хотя они могут происходить на одной площадке.

Когда установлен верхний предельный уровень по глубокоэшелонированной защите, подход к классификации основывается на оценке вероятности развития события в аварию. При этом не следует непосредственно использовать вероятностные методы, а нужно рассмотреть, потребовались ли реально средства безопасности, и какие дополнительные их отказы могли бы привести к аварии. При этом следует также учесть

возможные недостатки в культуре безопасности, которые проявились в оцениваемом событии и могли увеличить вероятность развития события в аварию.

Таким образом, процедура оценки состоит из следующих этапов:

- (1) Определить верхний предельный уровень по глубокоэшелонированной защите, исходя из максимально возможных радиационных последствий (т.е. максимально возможный уровень для соответствующих источников радиоактивности на объекте по воздействию на площадке и за ее пределами). Дальнейшие указания по определению максимально возможных последствий приведены в Разделе IV-3.1.
- (2) Далее следует определить базовый уровень по шкале, исходя из числа и эффективности имеющихся средств безопасности (конструктивных и административных) для предупреждения, контроля и смягчения последствий, включая пассивные и активные барьеры. Рассматривая число и эффективность таких средств, важно учитывать, сколько времени имеется в распоряжении и сколько времени необходимо для определения и осуществления соответствующих корректирующих мер. Дальнейшие указания по оценке средств безопасности приведены в Разделе IV-3.2.
- (3) Кроме того, следует рассмотреть возможное повышение базового уровня согласно Разделу IV-3.3, но в пределах максимального уровня по глубокоэшелонированной защите, установленного в пункте (1) выше. Такое повышение уровня учитывает те аспекты события, которые могут свидетельствовать о более глубоком ухудшении технического состояния или организационных условий на объекте. Рассматриваются следующие факторы: отказы по общей причине, процедурные несоответствия и недостатки в культуре безопасности. Эти факторы не входят в базовую оценку и могут указывать, что значимость события с точки зрения глубокоэшелонированной защиты выше, чем было принято в базовом уровне. Следовательно, для сообщения общественности о действительной значимости события рассматривается повышение оценки на один уровень.

Очевидно, что наряду с рассмотрением по состоянию глубокоэшелонированной защиты, каждое событие должно также рассматриваться по воздействию за пределами площадки и на площадке.

IV-3. ПОДРОБНЫЕ УКАЗАНИЯ ПО КЛАССИФИКАЦИИ СОБЫТИЙ

IV-3.1. Определение максимально возможных последствий

При оценке событий, затрагивающих большую часть активной зоны энергетического реактора или отработавшего топлива в бассейне выдержки, как правило, нет необходимости специально рассматривать максимально возможные последствия. Признается теоретическая возможность крупного выброса и, следовательно, верхним пределом классификации по глубокоэшелонированной защите является уровень 3.

Для других объектов или для операций, затрагивающих лишь малую часть материала активной зоны (например, обращение с топливом), необходимо рассмотреть максимально возможные последствия (т.е. максимально возможную оценку по воздействию за пределами площадки и на площадке) в случае отказа всех средств безопасности. Для некоторых объектов физически невозможно достижение верхних уровней ИНЕС даже при чрезвычайно маловероятных авариях. Максимально возможные последствия характерны не для типа событий, а для определенной совокупности деятельности (операций) на объекте.

Оценивая максимально возможный уровень по воздействию за пределами площадки и на площадке, нужно учитывать следующие общие принципы:

- (a) На одной площадке может быть несколько различных объектов со своим кругом задач, выполняемых на каждом из них. Поэтому максимально возможная оценка специфична для того типа объекта, на котором произошло событие, и для того типа операций, которые производились во время события.
- (b) Необходимо учитывать не только имеющееся количество радиоактивности, которое потенциально могло быть затронуто событием, но также физические и химические свойства этого материала, и механизмы возможного рассеивания и распространения радиоактивности.
- (c) Не следует сосредоточивать внимание на сценариях, рассмотренных в обосновании безопасности. Нужно учитывать физически возможные аварии, когда окажутся недостаточными все затронутые событием средства безопасности.

Эти принципы можно проиллюстрировать следующими примерами:

- (1) При событиях, связанных с блокировкой входа в радиационно-опасное помещение (бокс, камеру), максимально возможные последствия, скорее всего, выражаются в облучении персонала. Если уровни радиации достаточно высоки, чтобы вызвать смерть работника, вошедшего в помещение, и не принимаются меры для смягчения последствий, то максимальной оценкой может быть уровень 4 по воздействию на площадке.
- (2) При событиях на малых исследовательских реакторах (т.е. с мощностью меньше 1 МВт) существуют физические рассеивания значительной части материала активной зоны (вследствие аварийной критичности или потери охлаждения топлива). Однако общее количество радиоактивности таково, что максимальная оценка не может быть выше уровня 4 по воздействию как на площадке, так и за ее пределами, даже если откажут все средства безопасности.
- (3) На предприятиях по регенерации топлива и иных установках по переработке соединений плутония общее количество радиоактивности и возможные механизмы рассеивания значительной ее части (вследствие аварийной критичности, химического взрыва или пожара) таковы, что максимальная оценка может превысить уровень 4 по воздействию на площадке или за ее пределами, если все средства безопасности окажутся неэффективными.
- (4) На предприятиях по изготовлению уранового топлива и по обогащению урана выбросы могут затрагивать химическую и радиационную безопасность, причем преобладает потенциальная химическая вредность, обусловленная токсичностью фтора и урана. Однако классификация по ИНЕС отражает оценку только радиационной опасности. С радиологической точки зрения выброс урана или его соединений едва ли может вызвать серьезные последствия на площадке или за ее пределами, превышающие уровень 4.

IV-3.2. Определение базового уровня с учетом эффективности средств безопасности

Поскольку анализ безопасности реакторных установок во время их работы на мощности проводится в соответствии с общепринятой международной практикой, можно дать более конкретные указания о том, как оценивать меры безопасности при событиях, затрагивающих реакторы на мощности. Кроме того, как отмечено в начале Раздела IV-3.1, в этом случае не требуется специально рассматривать максимально возможные последствия. Данный подход основывается на рассмотрении **исходных событий, функций безопасности и систем безопасности**. Эти понятия поясняются ниже, хотя они должны быть хорошо знакомы тем, кто принимал участие в анализе безопасности. Другие события на реакторных площадках, например, связанные с остановленным реактором или иными объектами на площадке, следует классифицировать, используя метод эшелонов защиты, который описан в Разделе IV-3.2.2. Так же следует оценивать события, связанные

с исследовательскими реакторами, чтобы должным образом учесть максимально возможные последствия, принципы проектирования и конструктивные особенности. В Приложении II представлен краткий обзор этого метода в помощь начинающим пользователям шкалы.

IV-3.2.1. События при работе реакторов на мощности (метод исходных событий)

Исходное или инициирующее событие – это определенное событие, которое приводит к отклонению от нормального рабочего (эксплуатационного) состояния и требует выполнения одной или нескольких функций безопасности. Исходные события используются в анализе безопасности, чтобы оценить достаточность имеющихся систем безопасности: исходным является событие, которое затрагивает системы безопасности и требует выполнения ими своих функций.

В принципе, возможны два типа событий, влияющих на состояние глубокоэшелонированной защиты:

- либо исходное (инициирующее) событие, которое требует действия определенных систем безопасности, предназначенных для преодоления последствий этого исходного события;
- либо ухудшение работоспособности (готовности) функции безопасности вследствие ухудшения работоспособности одной или большего числа систем безопасности, но без наступления того исходного события, для которого предусмотрены эти системы.

В первом случае оценка события зависит, в первую очередь, от степени ухудшения функции безопасности. Однако тяжесть события зависит и от предполагаемой частоты конкретного исходного события.

Во втором случае не происходит реального отклонения от нормальной эксплуатации, но обнаруженное ухудшение функции безопасности могло бы привести к существенным последствиям, если бы действительно произошло одно из исходных событий, для которых предназначены затронутые ухудшением системы безопасности. В этом случае тяжесть события тоже будет зависеть от:

- предполагаемой частоты потенциального исходного события;
- готовности соответствующей функции безопасности, обеспечиваемой работоспособностью конкретных систем безопасности.

Следует иметь в виду, что при классификации одного и того же конкретного события могут быть использованы оба варианта.

Таким образом, основной подход к классификации таких событий заключается в определении частоты (вероятности) соответствующих исходных событий и работоспособности затронутых функций безопасности. Затем используются две таблицы, чтобы получить базовую оценку (базовый уровень по шкале). Построение этих таблиц описано в Приложении III. Детальные указания по классификации приводятся ниже.

IV-3.2.1.1. Определение частоты исходных событий

Выбраны четыре различные категории частоты (вероятности):

- (1) *Ожидаемые.* Эта категория охватывает исходные события, которые, как предполагается, произойдут один или несколько раз за весь срок эксплуатации установки.

- (2) *Возможные.* Исходные события, которые не "ожидаются", но их предполагаемая частота за срок эксплуатации установки превышает уровень около 1% (т.е. около $3 \cdot 10^{-4}$ /год).
- (3) *Маловероятные.* Исходные события, рассматриваемые в проекте установки, которые менее вероятны, чем предыдущие.
- (4) *Запроектные.* Исходные события с очень малой частотой, которые, как правило, не включаются в обычный анализ безопасности установки. Если все же вводятся системы защиты от таких исходных событий, то они не обязательно должны иметь тот же уровень резервирования или разнородности, как меры защиты от проектных аварий.

Каждая установка имеет свой собственный перечень и классификацию исходных событий. Типичные примеры проектных исходных событий, классифицированных по категории частоты, приведены в Приложении IV. Малые нарушения, которые устраняются системами управления (а не системами безопасности), не включаются в число исходных событий. Исходное событие может не совпадать с тем происшествием, с которого началось рассматриваемое событие; с другой стороны, несколько различных цепочек (последовательностей) событий часто могут быть сгруппированы с одним исходным событием.

Для многих событий необходимо будет рассматривать более чем одно исходное событие, каждое из которых классифицируется определенным уровнем по шкале. Тогда это событие будет в целом оцениваться наибольшим из уровней, которые связаны с каждым исходным событием в отдельности. Например, резкое увеличение мощности реактора могло бы быть исходным событием, требующим действия защиты. Успешное срабатывание системы защиты может затем привести к останову реактора. Тогда быстрый останов реактора следует рассмотреть как исходное событие, требующее осуществления функции охлаждения топлива.

IV-3.2.1.2. Работоспособность функции безопасности

Имеются три основные функции безопасности:

- (a) управление реактивностью или условиями технологического процесса,
- (b) охлаждение радиоактивного материала,
- (c) удержание радиоактивного материала.

Осуществление этих функций обеспечивается пассивными системами (такими, как физические барьеры) и активными системами (такими, как система защиты реактора). Определенная функция безопасности может осуществляться несколькими системами безопасности и может выполняться даже при неработоспособности одной системы. С другой стороны, для выполнения функций безопасности требуются вспомогательные системы, такие как электропитание, охлаждение, питание контрольно-измерительных приборов. Существенно, что при оценке событий рассматривается работоспособность (готовность) функции безопасности, а не работоспособность индивидуальной системы. Система или оборудование считаются работоспособными, если они способны выполнять требуемую от них функцию надлежащим образом.

Работоспособность (готовность) каждой из систем безопасности регламентируется эксплуатационными пределами и условиями (ЭПУ). В большинстве стран они включаются в "технические условия" ("технологические регламенты") эксплуатации.

Работоспособность функции безопасности для конкретного исходного события может изменяться от состояния, когда полностью работоспособно все оборудование

систем безопасности, предназначенных для выполнения данной функции, до состояния, когда готовность для выполнения этой функции безопасности недостаточна. Для классификации событий рассматриваются четыре степени работоспособности (готовности).

A. Полная

Все системы безопасности и оборудование, которые предусмотрены проектом на случай конкретного исходного события, чтобы ограничить его последствия, полностью работоспособны (т.е. имеется их резервирование и разнородность).

B. Минимально требуемая ЭПУ

Минимальная работоспособность систем безопасности, обеспечивающих требуемую функцию безопасности, определенная ЭПУ, при которой разрешается дальнейшая работа на мощности, хотя бы ограниченное время. Такой уровень работоспособности, как правило, соответствует минимальной работоспособности различных систем безопасности, при которой функция систем безопасности может быть выполнена при всех исходных событиях, учитываемых в проекте установки. Однако для некоторых конкретных исходных событий может еще сохраняться резервирование и разнородность.

C. Достаточная

Уровень работоспособности систем безопасности, обеспечивающих требуемую функцию безопасности, достаточный для выполнения конкретной функции безопасности при рассматриваемом исходном событии. Для некоторых систем безопасности это будет соответствовать уровню работоспособности ниже требуемого ЭПУ. Например, если предусмотрены разнородные системы безопасности и каждая должна быть работоспособна согласно ЭПУ, но работоспособна только одна из них. Или если все системы безопасности, которые предназначены для обеспечения функции безопасности, неработоспособны в течение такого короткого времени, что функция безопасности, хотя и не соответствует ЭПУ, но еще выполняется другими средствами. (Например, функция безопасности "охлаждение топлива" может быть обеспечена, если полное обесточивание станции происходит только на очень короткое время). В других случаях категории B и C могут быть одинаковы.

D. Недостаточная

Ухудшение работоспособности систем безопасности таково, что функция безопасности не может быть выполнена при рассматриваемом исходном событии.

Следует заметить, что если уровни C и D охватывают некоторые диапазоны состояний установки, то уровни A и B представляют определенные степени работоспособности. Следовательно, фактическая работоспособность может находиться между уровнями A и B, т.е. она может быть меньше, чем полная но больше той, которая минимально допустима для дальнейшей работы на мощности. Об этом говорится в Разделе IV-3.2.1.3(a).

IV-3.2.1.3. Оценка базового уровня

Чтобы получить базовый уровень классификации по шкале, нужно, прежде всего, решить, потребовалось ли фактически действие систем безопасности (произошло ли

реальное исходное событие). Если да, то следует пользоваться Разделом IV-3.2.1.3(a), в противном случае – Разделом IV-3.2.1.3(b). В некоторых случаях придется рассматривать событие, используя оба раздела, если исходное событие произошло и при этом выявило пониженную готовность функции, затребованной реальным исходным событием. Например, если при останове реактора без потери внешнего энергоснабжения обнаружена пониженная работоспособность дизель-генераторов. Для событий, включающих в себя потенциальные отказы (например, обнаружение конструктивных дефектов), применяется подход, аналогичный описанному в Разделе IV-3.2.3.

(а) Происшествия с реальным исходным событием

На первом этапе нужно определить частоту, с которой исходное событие данного типа учитывалось в проекте. При выборе соответствующей категории следует исходить из той частоты, которая была принята в анализе безопасности (обоснование безопасности установки и ее рабочей зоны). Некоторые примеры приведены в Приложении IV.

Второй этап состоит в определении работоспособности функций безопасности, затребованных исходным событием. При этом важно рассматривать только те функции безопасности, осуществления которых требует исходное событие. Если обнаружено ухудшение состояния других систем безопасности, это следует оценивать согласно Разделу IV-3.2.1.3(b) по отношению к тому исходному событию, которое потребовало бы этой функции безопасности. Важно также отметить, что при оценке соответствия ЭПУ должны рассматриваться требования, предъявляемые к работоспособности до происшествия, а не во время его. Если работоспособность удовлетворяет ЭПУ, но только достаточна, то следует использовать категорию С.

Далее уровень оценки происшествия определяется из табл. III. Если при этом остается возможность выбора, то он должен основываться на степени резервирования и разнородности при рассматриваемом исходном событии. Если работоспособность функции безопасности только едва достаточна (т.е. дальнейший отказ мог бы привести к аварии), это соответствует уровню 3. В клетке В1 табл. III подойдет меньшее значение, если еще сохраняется значительное резервирование и/или разнородность.

ТАБЛИЦА III. ПРОИСШЕСТВИЯ С РЕАЛЬНЫМ ИСХОДНЫМ СОБЫТИЕМ

Работоспособность функции безопасности	Частота исходного события		
	Ожидаемое (1)	Возможное (2)	Маловероятное (3)
A Полная	0	1	2
B Соответствует ЭПУ	1/2	2/3	2/3
C Достаточная	2/3	2/3	2/3
D Недостаточная	3+	3+	3+

Если работоспособность функции безопасности выше минимально требуемой ЭПУ, но ниже, чем полная, то возможно значительное резервирование при ожидаемых исходных событиях. В таких случаях более подходящим будет уровень 0.

Запроектные исходные события не включены как отдельный элемент в табл. III. Если произошло такое исходное событие, то инцидент следует оценивать по состоянию глубокоэшелонированной защиты уровнем 2 или 3, в зависимости от степени резервирования систем, обеспечивающих защиту. Однако возможно, что запроектные исходные события приведут к аварии, требующей классификации по воздействиям за пределами площадки и на площадке.

Возникновение внутренних или внешних опасностей, таких как пожары, внешние взрывы или смерчи, может быть оценено с помощью данной таблицы. При этом опасность сама по себе не должна рассматриваться как исходное событие, но следует оценить системы безопасности, оставшиеся работоспособными, по отношению к исходному событию, которое действительно произошло, и/или к потенциальным исходным событиям.

(b) Происшествия без реального исходного события

Первый этап заключается в том, чтобы определить работоспособность (готовность) функции безопасности. На практике системы безопасности или их оборудование могут находиться в таком состоянии, которое невозможно полностью охарактеризовать какой-либо из принятых четырех категорий. Например, работоспособность может быть меньше, чем полная, но больше, чем минимально требуемая ЭПУ; или система в целом может быть работоспособна, но ухудшение ее состояния обусловлено потерей показаний. В таких случаях следует использовать соответствующие категории как возможный диапазон, в котором уровень определяется экспертной оценкой. Если работоспособность только достаточна, но еще удовлетворяет ЭПУ, то следует использовать категорию В.

На втором этапе определяется частота исходного события, для которого требуется функция безопасности. Если к данной функции имеют отношение два или более исходных событий, то необходимо рассмотреть каждое из них и использовать то, которое дает наибольший уровень. Если частота лежит на границе между двумя категориями, то снова потребуются экспертная оценка. В отношении систем, специально предусмотренных для защиты от опасностей, такую опасность следует рассматривать как исходное событие.

Далее уровень оценки происшествия определяется из табл. IV. Если при этом остается возможность выбора, то следует исходить из того, будет ли работоспособность только достаточной при рассматриваемом исходном событии, или же еще сохраняется резервирование и/или разнородность. Если период неработоспособности очень короток по сравнению с интервалом между испытанием компонентов систем безопасности, то следует рассмотреть снижение базового уровня происшествия.

ТАБЛИЦА IV. ПРОИСШЕСТВИЯ БЕЗ РЕАЛЬНОГО ИСХОДНОГО СОБЫТИЯ

Работоспособность функции безопасности	Частота исходного события		
	Ожидаемое (1)	Возможное (2)	Маловероятное (3)
A Полная	0	0	0
B Соответствует ЭПУ	0	0	0
C Достаточная	1/2	1	1
D Недостаточная	3	2	1

Запроектные исходные события не включены в табл. IV как отдельный элемент. Если работоспособность затронутой функции безопасности меньше минимально требуемой ЭПУ, это соответствует уровню 1. Если же работоспособность выше требуемого минимума, или ЭПУ не предусматривают никаких ограничений по работоспособности системы, то правильным будет уровень 0.

IV-3.2.2. Все другие события, т.е. любое событие, не связанное с реакторами на мощности (метод эшелонов защиты)

Для классификации события необходимо рассмотреть средства безопасности и оценить число отдельных эшелонов защиты, которые предотвратили аварию. При этом необходимо также рассмотреть располагаемое время и требуемое время для принятия эффективных корректирующих мер. Каждый из этих аспектов обсуждается ниже.

IV-3.2.2.1. Располагаемое время

В некоторых ситуациях время, которое имеется в распоряжении, чтобы принять корректирующие меры, существенно превышает время, необходимое для их выполнения, и поэтому может позволить привести в готовность (работоспособное состояние) дополнительные эшелоны защиты. Они могут учитываться, если существуют процедуры для выполнения требуемых мер. В некоторых случаях располагаемое время может быть настолько велико, что имеется целый ряд потенциальных эшелонов защиты, которые могут быть приведены в готовность, и не считалось необходимым в обосновании безопасности детально идентифицировать каждый из них или включать в процедуру подробное описание способов их приведения в готовность. В таких случаях благодаря длительному располагаемому времени имеется высоконадежный эшелон защиты, и это тоже нужно учитывать, как поясняется в следующем разделе.

IV-3.2.2.2. Идентификация эшелонов защиты

Эшелон защиты следует рассматривать как средство безопасности, которое не может быть разделено на отдельные (дублирующие) части. Так, если функция охлаждения обеспечивается двумя отдельными 100%-ными каналами, то их следует рассматривать как два отдельных эшелона защиты, если они не имеют общей не резервированной вспомогательной системы.

Эшелонами защиты могут быть пассивные устройства, активные компоненты или административные меры контроля и управления. Они могут включать в себя процедуры контроля, хотя следует заметить, что контроль сам по себе не образует эшелон защиты; требуются еще средства для осуществления корректирующих мер.

Рассматривая число эшелонов защиты, необходимо убедиться, что эффективность нескольких отдельных конструктивных эшелонов не снижается общей вспомогательной системой или общими действиями операторов в ответ на предупредительную сигнализацию или индикацию. В таких случаях может оказаться эффективным только один из нескольких конструктивных эшелонов защиты.

Рассматривая административные меры в качестве эшелонов защиты, важно проверить, в какой степени отдельные процедуры могут считаться независимыми, и достаточно ли надежна процедура, чтобы служить эшелоном защиты.

В некоторых ситуациях может быть в распоряжении высокоустойчивый эшелон защиты, например: контейнер для ядерного топлива при надлежащих условиях транспортировки, корпус реактора или меры и средства безопасности, основанные на естественно протекающих явлениях, таких как конвекционное охлаждение. Очевидно, в тех случаях, когда данное средство безопасности достоверно обладает очень высокой стойкостью, конструктивной целостностью и/или надежностью, его не следует рассматривать только как один эшелон защиты, применяя данные указания. Высокоустойчивый эшелон защиты должен иметь следующие характеристики:

- (a) Такой эшелон рассчитан на преодоление всех проектных недостатков и указан или подразумевается в обосновании безопасности установки как требующий особенно высокого уровня надежности или целостности.
- (b) Целостность эшелона защиты обеспечивается соответствующим контролем или проверками таким образом, что выявляется любое ухудшение целостности.

- (с) Если обнаружено любое ухудшение состояния эшелона защиты, то имеются определенные средства, чтобы справиться с нарушением и осуществить корректирующие меры – либо по заранее установленным процедурам, либо благодаря длительному располагаемому времени для устранения или ослабления последствий нарушения.

Примером высокоустойчивого эшелона защиты может служить корпус реактора (сосуд высокого давления). Административные меры обычно не удовлетворяют требованиям к высокоустойчивому эшелону защиты (хотя, как было отмечено выше, некоторые эксплуатационные процедуры тоже могут рассматриваться как высокоустойчивые эшелоны защиты, если имеется в распоряжении очень длительный период времени, чтобы выполнить требуемые меры и исправить возможные ошибки операторов, и имеется также широкий круг возможных мер).

IV-3.2.2.3. Оценка базового уровня

Когда установлены максимально возможные последствия и число эффективных эшелонов защиты, базовый уровень события определяется следующим образом:

- (1) В анализе безопасности установки указан широкий круг событий, которые были учтены в проекте. Принимается, что некоторые из них можно обоснованно ожидать в течение срока эксплуатации установки (т.е. они будут иметь частоту больше $1/N$ в год, где N – срок эксплуатации). Если такое событие потребовало тех мер безопасности, какие ожидалось, а системы безопасности, которые предусмотрены для преодоления этого события, были полностью работоспособны перед событием и действовали должным образом, то событие следует оценить уровнем 0. Аналогично, если меры безопасности фактически не потребовались, но обнаружено их ухудшение, то событие следует оценить уровнем 0, но при условии, что пониженная готовность мер безопасности еще удовлетворяла ЭПУ.
- (2) При всех других ситуациях следует пользоваться табл.V для определения базового уровня.

Если остается только один эшелон защиты, но он удовлетворяет всем сформулированным выше требованиям к высокоустойчивому эшелону защиты, то более правильной будет оценка уровнем 0⁵.

ТАБЛИЦА V. ОЦЕНКА СОБЫТИЙ МЕТОДОМ ЭШЕЛОНОВ ЗАЩИТЫ

Сохранившиеся эшелоны защиты	Максимально возможные последствия (уровни по ИНЕС)		
	уровни 5, 6, 7	уровни 3, 4	уровни 1 или 2
A Больше 3	0 ^a	0 ^a	0 ^a
B 3	1	0 ^a	0 ^a
C 2	2	1	0 ^a
D 1 или 0	3	2	1

^a Если работоспособность эшелонов защиты не соответствовала ЭПУ, то указания из Раздела IV-3.3 могут привести к оценке уровнем 1.

Если период неготовности эшелона защиты был очень коротким по сравнению с интервалом между испытаниями компонентов этого эшелона, то следует рассмотреть

⁵ Если работоспособность эшелонов защиты не соответствовала требованиям ЭПУ, то указания из Раздела IV-3.3 могут привести к оценке уровнем 1.

снижение базового уровня оценки события. Такой подход неизбежно требует большего объема экспертной оценки, чем это описано в Разделе IV-3.2.1, но в Разделе V-1 даются указания для определенных типов событий, а в Разделе V-2 приведено несколько обобщенных примеров использования метода эшелонов защиты.

IV-3.2.3. Потенциальные события (включая конструктивные дефекты)

Некоторые события сами по себе не требуют мер безопасности, но увеличивают вероятность требования на их срабатывание. Например, это могут быть обнаруженные конструктивные дефекты, или утечка, прекращенная вмешательством оператора, или отказы, обнаруженные в технологических системах управления. Подход к оценке таких событий описан ниже.

Программа контроля (надзора) предназначена для выявления дефектов прежде, чем они станут недопустимыми. Если дефект остался в таких пределах, то это событие уровня 0. Если же дефект больше, чем ожидаемый программой контроля, то при его классификации нужно учитывать два фактора.

Во-первых, следует определить значимость дефектного компонента с точки зрения безопасности, исходя из предположения, что этот дефект привел к отказу данного компонента, и использовать соответствующую часть Раздела IV-3. Если применяется Раздел IV-3.2.1 (реакторы на мощности), и дефект имеет место в системе безопасности, то пункт IV-3.2.1.3(b) дает верхний предел базового уровня. Возможно, при этом потребуется учесть вероятность отказа по общей причине. Если дефект обнаружен в компоненте, отказ которого мог бы вызвать исходное событие, то верхнее значение базового уровня определяется пунктом IV-3.2.1.3(a).

Полученную таким путем оценку следует затем скорректировать в зависимости от вероятности того, что дефект привел бы к отказу компонента, и, учитывая дополнительные факторы, которые рассматриваются в Разделе IV-3.3.

Другие потенциальные события можно классифицировать так же, как описано выше. Во-первых, нужно оценить значимость потенциального требования мер безопасности, предположив, что они действительно потребовались, и применить соответствующую часть Раздела IV-3, исходя из работоспособности средств безопасности в то время. Во-вторых, следует снизить оценку в зависимости от вероятности того, что потенциальное требование возникнет в результате события, которое действительно произошло. Уровень, до которого следует снизить классификацию события, должен основываться на экспертной оценке.

IV-3.2.4. События, оцениваемые уровнем 0

В общем, события следует классифицировать ниже шкалы на уровне 0, только тогда, когда применение процедур, описанных выше, не приводит к более высокой оценке. Однако, если не применим ни один из дополнительных факторов, рассматриваемых в Разделе IV-3.3, то следующие типы событий обычно классифицируются уровнем 0:

- нормально протекающий быстрый останов реактора;
- ложное срабатывание систем безопасности⁶, не затрагивающее безопасность установки, с нормальным возвратом в рабочее состояние;

⁶ Ложным срабатыванием в данном контексте считается срабатывание системы безопасности в результате отказа системы управления, дрейфа показаний приборов или индивидуальной ошибки человека. Однако не следует считать ложным срабатывание системы безопасности вследствие изменений физических параметров, которые были вызваны непреднамеренным воздействием где-либо еще на установке.

- незначительное нарушение барьеров (величина течи ниже допустимой ЭПУ);
- единичные отказы или неработоспособность компонентов в резервированной системе, обнаруженные во время плановой периодической инспекции или испытания.

IV-3.3. Рассмотрение дополнительных факторов

Конкретные аспекты могут затрагивать одновременно разные уровни (эшелоны) глубокоэшелонированной защиты и, следовательно, должны рассматриваться как дополнительные факторы, которые могут обосновывать классификацию события одним уровнем выше базового, полученного в соответствии с предыдущими указаниями.

Основные дополнительные факторы такого рода:

- отказы по общей причине;
- процедурные несоответствия;
- недостатки в культуре безопасности.

Вследствие такой корректировки событие может быть оценено уровнем 1, хотя оно не имело бы значения для безопасности без учета этих дополнительных факторов.

Рассматривая повышение базового уровня на основании этих факторов, необходимо иметь в виду следующие аспекты:

- (1) Некоторые из перечисленных выше факторов могут быть уже включены в базовую оценку, например, отказ по общей причине. Поэтому важно проследить, чтобы такие отказы не учитывались дважды. С учетом всех дополнительных факторов уровень события может быть повышен только на одну ступень.
- (2) Событие не следует классифицировать выше максимального уровня, полученного в соответствии с Разделом IV-2, и этот максимальный уровень применяется только в тех случаях, когда еще одно событие (ожидаемое исходное событие или отказ еще какого-либо компонента) привело бы к аварии.

IV-3.3.1. Отказы по общей причине

Отказ по общей причине заключается в том, что несколько устройств или компонентов оборудования не выполняют (или неудовлетворительно выполняют) свои функции вследствие одного конкретного события или причины. В частности, это может вызвать отказ резервируемых компонентов оборудования или устройств, предназначенных для выполнения одной и той же функции безопасности. Это может означать, что надежность данной функции безопасности в целом значительно ниже, чем ожидалось. Поэтому событие, которое связано с отказом по общей причине и затрагивает один или несколько компонентов следует оценивать серьезнее, чем случайный отказ тех же компонентов.

Таким же образом нужно рассматривать события, связанные с затруднениями в работе систем из-за недостаточной или неверной информации (уровень может быть повышен ввиду отказа по общей причине).

IV-3.3.2. Процедурные несоответствия

Несколько уровней (эшелонов) глубокоэшелонированной защиты могут быть затронуты одновременно вследствие неадекватных процедур. Поэтому такие несоответствия в процедурах тоже могут быть причиной повышения уровня события по шкале. Примерами могут служить: неправильные или недостаточные инструкции, которыми должны руководствоваться операторы при определенных событиях (во время

аварии на АЭС "Три-Майл-Айленд" в 1979 г. процедуры для операторов на случай срабатывания аварийного впрыска не предусматривали конкретную ситуацию потери теплоносителя в паровой фазе через компенсатор давления); или недостатки в программе контроля, проявившиеся в нарушениях, которые не были выявлены нормальными процедурами; или длительные периоды неготовности установки, значительно превышающие нормальный интервал испытаний.

IV-3.3.3. События, связанные с культурой безопасности

Культура безопасности определялась как "такой набор характеристик и особенностей деятельности организаций и поведения отдельных лиц, который устанавливает, что проблемам безопасности АЭС, как обладающим высшим приоритетом, уделяется внимание, определяемое их значимостью". Высокая культура безопасности помогает предупредить инциденты, а с другой стороны, ее отсутствие или недостаточность могут привести к тому, что операторы будут действовать не так, как предусмотрено проектом. Поэтому культуру безопасности нужно рассматривать как составную часть глубокоэшелонированной защиты и, следовательно, недостаток в культуре безопасности может быть основанием для повышения оценки события на одну ступень.

Для повышения оценки вследствие недостаточной культуры безопасности событие должно рассматриваться как реальный показатель недостатка в общей культуре безопасности.

Примерами таких показателей могут быть:

- нарушение эксплуатационных пределов и условий или необоснованное нарушение процедуры (дополнительную информацию об ЭПУ и "технологических регламентах" см. в Приложении V);
- недостаток в процессе обеспечения качества;
- накопление человеческих ошибок;
- несоблюдение надлежащего контроля за радиоактивными материалами, включая выбросы в окружающую среду, или нарушение в системах дозиметрического контроля;
- повторение события, свидетельствующее о том, что не извлечены возможные уроки или не приняты корректирующие меры после первого подобного события.

Важно отметить, что цель указаний настоящего раздела не инициировать длительный и детальный анализ, а учитывать экспертные оценки, которые могут быть сделаны непосредственно лицами, классифицирующими данное событие.

IV-4. ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В данном разделе определяются термины, которые не имеют определений в других публикациях МАГАТЭ. Во многих случаях в тексте настоящего "Руководства" приводятся более подробные пояснения.

Высокоустойчивый эшелон защиты. Он должен обладать всеми следующими характеристиками:

(а) Такой эшелон рассчитан на преодоление всех проектных недостатков и указан или подразумевается в обосновании безопасности установки как требующий особенно высокого уровня надежности или целостности.

(б) Целостность эшелона защиты обеспечивается соответствующим контролем или проверками таким образом, что выявляется любое ухудшение целостности.

(с) Если обнаружено любое ухудшение состояния эшелона защиты, то имеются определенные средства, чтобы справиться с нарушением и осуществить корректирующие меры – либо по заранее установленным процедурам, либо благодаря длительному располагаемому времени для устранения или ослабления последствий нарушения.

Глубокоэшелонированная защита. Как сформулировано в "Основных принципах безопасности атомных электростанций", Серия изданий по безопасности № 75-INSAG-3, Rev.1 (см. сноску 4):

"Для компенсации потенциальных ошибок человека и механических отказов реализуется концепция глубокоэшелонированной защиты, опирающаяся на несколько уровней защиты и включающая последовательные барьеры, препятствующие выходу радиоактивных веществ в окружающую среду. Эта концепция включает защиту барьеров для предотвращения повреждения установки и самих барьеров. Она включает дальнейшие меры защиты населения и окружающей среды от ущерба в случае, если эти барьеры окажутся не вполне эффективными".

Зоны, не предусмотренные проектом. Зоны в постоянных или временных сооружениях, где согласно проекту не предполагается достижение и продолжительное сохранение того уровня радиоактивного загрязнения, который фактически достигнут, и не предусмотрена защита от дальнейшего распространения загрязнения. Примеры событий с загрязнением зон, не предусмотренных проектом:

- загрязнение радионуклидами тех участков за пределами специально контролируемых зон, где обычно отсутствует радиоактивность, таких как полы, лестничные марши, вспомогательные здания, складские площади и т.д.;
- загрязнение плутонием или высокоактивными продуктами деления участка, предназначенного и оборудованного только для операций с ураном.

Исходное (инициирующее) событие. Определенное событие, которое приводит к отклонению от нормального эксплуатационного состояния и требует действия одной или нескольких функций безопасности.

Меры защиты. Процедуры, административные меры контроля и управления, либо пассивные или активные системы, которые обычно предусматриваются с резервированием, а их готовность регламентируется ЭПУ.

Относящийся к безопасности – затрагивающий ядерную или радиационную безопасность.

Работоспособность оборудования. Оборудование считается работоспособным, когда оно способно выполнять свою функцию надлежащим образом.

Работоспособность функции безопасности. Работоспособность (готовность) функции безопасности может быть "полной", "соответствующей ЭПУ", "достаточной" или "недостаточной" в зависимости от работоспособности отдельных взаимно резервированных и разнородных систем безопасности и их компонентов.

Рабочая зона (зона обслуживания). Участки, куда разрешен доступ персонала. К ним не относятся участки, где требуются специальные меры контроля ввиду уровня загрязнения или радиации.

Радиологический барьер. Барьер, предназначенный для предотвращения рассеивания радиоактивных веществ за пределы их отражающего устройства.

Радиологический эквивалент. Количество радионуклида в выбросе, которое при воздействии на площадке и за ее пределами дает такую же ожидаемую эффективную дозу, как определенные количества йода-131 или рутения-106. Расчет производится по модели, подробно описанной в Приложении I.

Разрешенный режим эксплуатации. См. "эксплуатационные пределы и условия".

Системы безопасности. Системы, важные для безопасности, предназначенные для обеспечения функций безопасности.

Функции безопасности. Имеются три основные функции безопасности: (a) управление реактивностью или условиями технологического процесса; (b) охлаждение радиоактивного материала; (c) удержание радиоактивного материала.

Эксплуатационные пределы и условия (ЭПУ). Совокупность правил, заранее определяющих предельные значения параметров, функциональную способность и уровень рабочих характеристик в отношении оборудования и действий персонала, которые утверждены регулирующим органом для безопасной эксплуатации АЭС (в большинстве стран они включаются в "технологические регламенты").

Эшелоны (уровни) защиты – меры защиты, которые не могут быть разделены на отдельные (дублирующие) части.

Часть V

ПРИМЕРЫ, ИЛЛЮСТРИРУЮЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННОЙ ЗАЩИТЫ

V-1. УКАЗАНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ МЕТОДА ЭШЕЛОНОВ ЗАЩИТЫ ДЛЯ КОНКРЕТНЫХ ТИПОВ СОБЫТИЙ

V-1.1. Контроль критичности

Поведение критической системы и ее возможные радиационные последствия сильно зависят от физических условий и характеристик системы. В гомогенных растворах делящихся материалов эти характеристики ограничивают возможное число делений, уровень энерговыделения при резком увеличении критичности и потенциальные последствия таких скачков. Как показывает практический опыт в отношении таких растворов, при резком увеличении критичности типично суммарное число делений порядка 10^{17} - 10^{18} .

В гетерогенных критических системах, таких как решетки топливных стержней или сухие твердые критические системы, более вероятны высокие пиковые мощности, приводящие к взрывному выделению энергии и выбросу больших количеств радиоактивных веществ вследствие существенного повреждения установки.

Главную опасность при резком увеличении критичности представляют сильные поля прямого нейтронного и гамма-излучения с вероятными высокими дозами облучения персонала. Другим последствием может быть выброс короткоживущих радиоактивных продуктов деления за пределы площадки (объекта) и вероятное сильное загрязнение на площадке. Кроме того, взрывное энерговыделение при резком увеличении критичности в гетерогенной системе может сопровождаться выбросом делящегося материала. В большинстве случаев воздействие за пределами площадки и на площадке ограничено уровнем 4. Только тогда, когда возможен выброс делящегося материала вследствие взрыва, уровень события может быть повышен.

В соответствии с этими общими указаниями:

- незначительные отклонения от безопасного режима критичности, без нарушения ЭПУ, следует классифицировать уровнем 0;
- режим с отклонением от ЭПУ следует классифицировать, по меньшей мере, уровнем 1.

Событие следует оценить уровнем 3 в тех случаях, когда увеличение критичности могло бы вызвать аварии с максимально возможными последствиями уровня 5 или выше, если бы условия были менее благоприятны или возник бы еще один отказ в средствах безопасности. Подобные события оцениваются уровнем 2, если потенциальные последствия могли быть только уровня 3 или 4.

Если сохраняется больше одного эшелона защиты, то уровень события должен быть ниже, как показано в табл.V.

V-1.2. Утеря или изъятие радиоактивных источников

В данном разделе рассматриваются события, включающие в себя утерю или ненадлежащее местонахождение герметизированных и негерметизированных радиоактивных источников, хранение и использование которых подлежит административному контролю. Поскольку такие события являются результатом

несоблюдения требуемых процедур контроля, минимальной оценкой будет уровень 1 для всех случаев, когда источник безвозвратно утерян или обнаружен в ненадлежащем месте.

Если в случае разрушения источника потенциальные последствия за пределами площадки не могут достигать уровня 5, но величина источника такова, что вероятна смертельная доза облучения или радиационные ожоги (т.е. острые лучевые поражения), то его безвозвратную утерю следует классифицировать уровнем 2 по состоянию глубокоэшелонированной защиты. Аналогично, обнаружение такого источника вне контролируемой зоны или за пределами площадки, где он мог бы причинить ущерб здоровью, тоже оценивается уровнем 2.

Если разрушение источника могло бы привести к радиационной аварии уровня 5, то его безвозвратную утерю следует классифицировать уровнем 3 по состоянию глубокоэшелонированной защиты.

V-1.3. Неразрешенный сброс и/или распространение загрязнения

Любое событие, которое сопровождается переносом загрязнения на площадке или за ее пределами и приводит к превышению нормативно установленного предельного уровня радиоактивности для данной зоны, может быть классифицировано уровнем 1 на основании Раздела IV-3.3.3 (несоблюдение надлежащего контроля за радиоактивными материалами). Более существенные нарушения мер безопасности следует оценивать, учитывая максимально возможные последствия, если все меры безопасности окажутся неэффективны, и число сохранившихся эшелонов защиты.

Если значительное загрязнение за пределами площадки невозможно, то максимальной оценкой по состоянию глубокоэшелонированной защиты будет уровень 2. Нарушения разрешений на сброс следует классифицировать уровнем 1.

V-1.4. Дозиметрический контроль

Иногда могут возникнуть ситуации, когда процедуры радиационного контроля и административные меры оказываются недостаточны и работники получают незапланированные дозы облучения (внутреннего или внешнего). Такие события обосновывают оценку уровнем 1 в соответствии с Разделом IV-3.3.3 (несоблюдение надлежащего контроля за радиоактивными материалами). Если в результате события суммарная доза превысила нормативно установленные пределы, то его следует оценивать, по меньшей мере, уровнем 1 как нарушение ЭПУ.

Уровнем 2 оценивается состояние глубокоэшелонированной защиты, если максимально возможные последствия при неэффективности всех мер безопасности достигали бы уровня 3 или 4, и в результате события остается только один эшелон защиты. В принципе, указания Раздела IV-3.3 не следует применять для повышения оценки событий, связанных с нарушениями дозиметрического контроля, выше базового уровня 1. Иначе события, при которых переоблучение было предотвращено, будут классифицироваться тем же уровнем, как и события, при которых действительно имели место значительные дозы облучения свыше установленных пределов.

V-1.5. Блокировка входа в защищенные помещения ограниченного доступа

Чтобы предотвратить несанкционированный доступ в нормально закрытые защищенные помещения, как правило, применяются срабатывающие от радиации блокировочные устройства на входных дверях, процедуры допуска и контроль мощности дозы перед входом.

Отказ блокировки таких дверей может быть вызван обесточиванием и/или дефектами в датчике (датчиках) или связанной с ними электронной аппаратуре.

Поскольку максимально возможные последствия таких событий ограничены уровнем 4, те события, при которых дальнейший отказ в средствах безопасности мог бы привести к аварии, следует классифицировать уровнем 2. А события, при которых сохраняются дополнительные эшелоны защиты, включая административную регламентацию допуска, оцениваются уровнем 1.

V-1.6. Отказы систем вытяжной вентиляции, фильтрации и очистки

Обычно предусматриваются три отдельные, но связанные между собой системы вытяжной вентиляции, чтобы поддерживать градиент давления между емкостями оборудования, камерами или перчаточными боксами и зонами их обслуживания, а также достаточный расход через отверстия в ограждающих стенах, что позволяет избежать обратной диффузии радиоактивного материала. Дополнительно применяются системы очистки, такие как высокоэффективные сухие воздушные фильтры и скрубберы, чтобы уменьшить выбросы в атмосферу до заданных пределов и предупредить обратную диффузию в зоны с меньшей радиоактивностью.

При классификации событий, связанных с потерей таких систем, первый этап состоит в определении максимально возможных последствий, как на площадке, так и за ее пределами, если все меры безопасности окажутся неэффективны. Следует рассмотреть имеющееся количество материала и возможные способы его рассеивания на площадке и за ее пределами. Необходимо также оценить вероятность снижения концентрации нейтральных газов или образования взрывоопасных смесей. Если взрыв невозможен, то в большинстве случаев маловероятно, что максимально возможные последствия превысят уровень 3, так что максимальной оценкой по состоянию глубокоэшелонированной защиты будет уровень 2.

На втором этапе определяется эффективность остающихся мер безопасности, включая процедуры, предотвращающие дальнейшее выделение активности при прекращении работ. Классификация таких событий иллюстрируется Примерами 16 и 17 в Разделе V-3.

V-1.7. Инциденты при грузовых операциях и падения тяжелых грузов

V-1.7.1. События, не затрагивающие топливные сборки

Последствия инцидентов при грузовых операциях или отказах подъемно-транспортного оборудования зависят от перемещаемого материала, от места, где произошел инцидент, и от оборудования, которое было или могло быть повреждено.

События, когда падение груза угрожает рассыпанием или разливом радиоактивного материала (из самого упавшего груза либо из поврежденных трубопроводов или емкостей), следует классифицировать, учитывая максимально возможные последствия и вероятность такого рассеивания материала. Инциденты, когда упавший груз причиняет лишь ограниченные повреждения, но может с относительно высокой вероятностью вызвать аварию, оцениваются максимальным уровнем по состоянию глубокоэшелонированной защиты. Аналогично, максимальным уровнем следует классифицировать события, когда остается только один эшелон защиты, который не считается особенно надежным и/или устойчивым.

Инциденты, при которых вероятность меньше или имеются дополнительные эшелоны защиты, следует оценивать согласно указаниям в Разделе IV-3.2.2. Незначительные происшествия, которые можно ожидать в течение срока эксплуатации установки, классифицируются уровнем 0.

V-1.7.2. Инциденты при обращении с топливом

События при операциях с необлученными урановыми твэлами, не отражающиеся существенно на обращении с облученным топливом, обычно оцениваются уровнем 0, если при этом не было риска повреждения отработавших твэлов или оборудования, связанного с безопасностью.

Количество радиоактивных продуктов в отдельном твэле, очевидно, гораздо меньше, чем в бассейне выдержки отработавшего топлива или в активной зоне реактора. Пока обеспечивается охлаждение твэла, это дает важный эшелон защиты, так как целостность топливной матрицы не нарушена перегревом. Как правило, для перегрева топлива требуется очень длительное время. В большинстве случаев, в зависимости от конфигурации установки, эшелонами защиты является и защитная оболочка.

События, ожидаемые за срок эксплуатации установки, которые не влияют на охлаждение отработавшего твэла, если при этом утечка радиоактивности незначительна или вообще отсутствует, обычно классифицируются уровнем 0.

Уровень 1 следует рассматривать при происшествиях, включающих:

- события, не ожидаемые за срок эксплуатации установки;
- режим с отклонением от ЭПУ;
- ограниченное ухудшение охлаждения, не нарушающее целостности топливных стержней;
- механическое нарушение целостности топливного стержня без ухудшения охлаждения.

Уровень 2 может быть обоснован для событий, при которых нарушается целостность топливного стержня вследствие значительного нагрева твэла.

V-1.8. Потеря электроснабжения

Для многих установок часто бывает необходимо предусмотреть гарантированное бесперебойное электроснабжение, чтобы обеспечить непрерывную безопасную эксплуатацию и поддерживать готовность контрольно-измерительной аппаратуры. Для предотвращения отказов по общей причине применяются несколько независимых каналов электропитания от разнородных источников. Хотя при полном обесточивании большинство установок должно автоматически выключаться до безопасного состояния, иногда предусматриваются дополнительные меры безопасности, например, использование нейтрального газа.

На некоторых установках даже полная потеря электроснабжения, продолжающаяся несколько суток, не должна оказывать отрицательного влияния на безопасность; тогда такие события следует классифицировать уровнем 0 или 1, поскольку имеется несколько способов, чтобы за располагаемое время восстановить энергоснабжение. Уровень 1 будет более подходящим, если готовность систем безопасности не удовлетворяет ЭПУ.

Чтобы классифицировать события, сопровождающиеся потерей внешних источников электроснабжения или отказами в системах электропитания на площадке, нужно использовать общие указания Раздела IV-3.2.2, учитывая объем сохранившихся источников, время, в течение которого отказавшие источники были неработоспособны, и максимально возможные последствия. Особенно важно учесть допустимое время задержки до восстановления электроснабжения.

Частичная потеря электроснабжения или потеря питания от нормальной сети при наличии работоспособных систем резервного электроснабжения является событием, ожидаемым за срок эксплуатации установки, и поэтому его следует классифицировать ниже шкалы уровнем 0.

V-1.9. Пожар и взрыв

Пожар или взрыв на объекте или вблизи него, который не может ухудшить состояние каких-либо средств безопасности, следует классифицировать уровнем 0 или "вне шкалы". Пожары, которые потушены установленными системами защиты, действовавшими в соответствии с проектом, тоже следует считать событием уровня 0 или "вне шкалы".

Значимость пожаров и взрывов на ядерных установках зависит не только от затронутого материала, но и от местонахождения, и от доступности для возможных операций пожаротушения. Классификация зависит от максимально возможных последствий за пределами площадки или на площадке, от числа и эффективности сохраняющихся эшелонов защиты, включая барьеры и системы безопасности. Оценивая эффективность оставшихся эшелонов защиты, следует учитывать вероятность того, что их состояние могло ухудшиться. Любой пожар или взрыв, затрагивающий низкоактивные отходы, классифицируется уровнем 1 ввиду недостатков в процедурах или культуре безопасности.

V-1.10. Внешние опасности

Возникновение опасностей, таких как землетрясения, смерчи или взрывы, можно классифицировать таким же образом, как другие события, рассматривая эффективность сохранившихся уровней защиты. А при классификации событий, которые связаны с отказами в системах, специально предназначенных для защиты от таких опасностей, следует оценить число эшелонов защиты, в том числе вероятность возникновения этой опасности в период неготовности системы. Ввиду предполагаемой малой вероятности подобных опасностей едва ли потребуются оценка выше уровня 1.

V-1.11. События во время транспортировки

Как и при многих других событиях, очень важно оценить максимально возможные последствия и, исходя из этого, определить максимальный уровень по воздействию на глубокоэшелонированную защиту. Правила перевозки регламентируют максимальную активность, которую может содержать каждая упаковка, отправка или транспортное средство. Эту максимальную активность любого транспортируемого материала можно соотнести с параметром A_2 , который означает максимальную активность конкретного радионуклида, допустимую в упаковке (контейнере) типа А. Таким образом можно связать транспортируемую активность, выраженную через A_2 , с максимально возможными последствиями по ИНЕС, предполагая 100%-ный выброс (утечку) содержимого, и с максимальным уровнем по состоянию глубокоэшелонированной защиты. В табл. VI представлено соотношение между транспортируемой активностью и последствиями. Этой таблицей следует пользоваться при оценке транспортных инцидентов, которые сопровождаются аэрозольными выбросами⁷.

⁷ Указания ИНЕС по радиологической эквивалентности применимы только для аэрозольных выбросов. Невозможно дать общие указания по оценке эквивалентности водных сбросов или утечек.

ТАБЛИЦА VI. СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ТРАНСПОРТИРУЕМОЙ АКТИВНОСТЬЮ И МАКСИМАЛЬНОЙ ОЦЕНКОЙ

Транспортируемая активность	Максимально возможные последствия (при 100%-ном выбросе содержимого)	Максимальный уровень по глубокоэшелонированной защите
Больше 100 A ₂	Уровень 5-7	3
От A ₂ до 100 A ₂	Уровень 3-4	2
Меньше A ₂	Уровень 2	1

На этой основе, руководствуясь общими принципами классификации событий методом эшелонов защиты, можно детализировать указания для ряда конкретных случаев (табл.VII). В других случаях следует учитывать достаточность сохраняющихся мер безопасности, используя общие указания.

ТАБЛИЦА VII. ОЦЕНКА СОБЫТИЙ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ

Уменьшение эшелонов защиты	Транспортируемая активность упаковки		
	<A ₂	A ₂ – 100 A ₂	>100 A ₂
<i>События без транспортной аварии</i>			
- Только одна сохранившаяся мера безопасности ^a	0	1	2
- Не остается мер безопасности (например, неадекватная упаковка)	1	2	3
- Утеря упаковки	1	2	3
<i>События с транспортной аварией</i>			
- Не ухудшились меры безопасности	0	0	0
- Существенное ухудшение мер безопасности ^a (осталась только одна из них или не осталось ни одной)	1	2	3

^a Если единственная сохранившаяся мера безопасности не удовлетворяет требованиям к высокоустойчивому эшелону защиты.

V-1.12. Отказы в системах охлаждения

V-1.12.1. События во время останова реактора

Большинство систем безопасности реактора рассчитано на то, чтобы справляться с исходными событиями, происходящими во время работы на мощности. Весьма сходны события в условиях "горячего" останова или пуска реактора, и рассматривать их следует так, как описано в Разделе IV-3.2.1. Когда реактор остановлен, некоторые из этих систем безопасности еще требуются, чтобы обеспечивать выполнение функций безопасности, но обычно остается больше времени до момента, когда мог бы произойти выброс из активной зоны.

С другой стороны, это располагаемое время для "ручных" действий, чтобы предупредить значительное повышение температуры топлива и выброс радиоактивных продуктов деления, может частично заменить собой часть мер безопасности, таких как резервирование или разнородность, т.е. в зависимости от состояния установки может быть приемлема меньшая степень резервирования оборудования и/или барьеров безопасности в течение некоторых периодов "холодного" останова реактора. К тому же в условиях

"холодного" останова конфигурация барьеров иногда существенно отличается (например, открытый первый контур, открытая защитная оболочка и т.д.).

Несколько примеров, относящихся водо-водяным энергетическим реакторам, представлены в Разделе V-2 в качестве руководства по классификации событий методом эшелонов защиты. При оценке учитывается, главным образом, располагаемое время для корректирующих мер и число сохраняющих эффективность эшелонов защиты. Для других типов реакторов эти примеры нужно использовать как иллюстративные вместе с общими принципами классификации подобных событий.

V-1.12.2. События, затрагивающие бассейн выдержки отработавшего топлива

После нескольких лет эксплуатации запас радиоактивности в бассейне выдержки отработавшего топлива может быть достаточно велик. В таких условиях оценка событий, затрагивающих этот бассейн, по воздействию на глубокоэшелонированную защиту может меняться во всем диапазоне от уровня 0 до уровня 3.

Благодаря большому объему воды и относительно малой интенсивности остаточного тепловыделения обычно бывает вполне достаточно времени, чтобы принять корректирующие меры в случае событий, связанных с ухудшением охлаждения бассейна выдержки. Это относится и к потере теплоносителя в бассейне выдержки, поскольку утечка из бассейна ограничена его конструкцией. Поэтому отказ на несколько часов системы охлаждения бассейна выдержки отработавшего топлива или утечка теплоносителя обычно не оказывают негативного воздействия на отработавшее топливо. Следовательно, незначительное ухудшение параметров системы охлаждения бассейна выдержки или небольшие утечки, как правило, следует оценивать уровнем 0.

Режим с отклонением от ЭПУ, существенное повышение температуры или снижение уровня воды в бассейне выдержки отработавшего топлива следует классифицировать уровнем 1. Признаком уровня 2 может быть начало осушения твэлов. Существенное осушение и разогрев твэлов явно указывают на уровень 3.

V-1.12.3. Другие установки

Неисправности в ответственных системах охлаждения можно классифицировать таким же образом, как отказы в системах электропитания, учитывая максимально возможные последствия, число сохраняющихся эшелонов защиты и допустимое время задержки до восстановления требуемого охлаждения.

В случае отказов в системах охлаждения хранилища низкоактивных жидких отходов или плутония, очевидно, следует классифицировать уровнем 3 такие события, когда на значительный период времени остается только один эшелон защиты.

V-2. ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ЭШЕЛОНОВ ЗАЩИТЫ

Чтобы проиллюстрировать использование указаний Раздела IV-3.2.2, ниже рассматривается несколько примеров, основанных на охлаждении остановленного реактора.

Пример 1:

Описание события:

В этом первом примере расхолаживание осуществляется циркуляцией теплоносителя через теплообменник отвода остаточного тепла (ООТ), с одним

всасывающим трубопроводом и двумя запорными клапанами. Первый контур замкнут. В случае закрытия запорных клапанов температура теплоносителя будет повышаться, но пройдет приблизительно один час, прежде чем она достигнет недопустимых значений. Клапаны исправны и действуют по команде со щита управления. Парогенераторы открыты для выполнения работ на них и, следовательно, неработоспособны. Аварийный впрыск не готов, его насосы высокого давления изолированы от подпиточных насосов, а предохранительные клапаны способны регулировать давление в первом контуре. Событие, которое требуется классифицировать, заключается в том, что ложное срабатывание датчиков давления вызвало закрытие запорных клапанов. Сигнализация на щите управления известила оператора о закрытии клапанов. После проверки того, что сигнал роста давления был ложным, клапаны были снова открыты. Температура не поднялась выше допустимой ЭПУ.

Объяснение оценки:

Максимально возможные последствия потери охлаждения превышают уровень 4, поэтому максимальная оценка по состоянию глубокоэшелонированной защиты выражается уровнем 3. Затронутая функция безопасности – охлаждение топлива. В конечном счете, единственным эшелон защиты, который обеспечивает эту функцию, является охлаждение теплоносителя первого контура через один всасывающий трубопровод ООТ, т.е. имеется только один эшелон защиты.

Следовательно, необходимо рассмотреть целостность этого единственного эшелона защиты, учитывая при этом как конструктивный, так административный (организационный) аспекты. В первую очередь следует рассмотреть действия оператора, необходимые для того, чтобы восстановить охлаждение: оператор должен убедиться, что сигнал был ложным, и если повышение температуры теплоносителя вызвало затем рост давления, требуется снизить давление. Процедура восстановления ООТ после закрытия клапанов отсутствует. Нужные операции могут быть выполнены за располагаемое время, но без большого запаса. Рассмотрение конструктивных аспектов показывает, что еще один отказ, т.е. неоткрытие любого из клапанов, приведет к неготовности эшелона защиты. К тому же времени явно недостаточно, чтобы произвести какой-либо ремонт, если клапаны не откроются.

По этим признакам единственный эшелон защиты нельзя считать высокоустойчивым, хотя проектом предусмотрен только один эшелон. Его целостность ограничивается необходимостью открытия обоих клапанов, чтобы восстановить функцию охлаждения. Следовательно, такое событие при описанной конфигурации оборудования должно классифицироваться уровнем 3.

Пример 2:

Описание события:

В этом примере конструктивная схема несколько изменена по сравнению с Примером 1. Теперь имеются два отдельных канала ООТ, причем клапаны в каждом из них связаны с отдельными датчиками давления. Рассматриваемое событие отличается только тем, что давление действительно возросло.

Объяснение оценки:

С конструктивной точки зрения теперь имеются два эшелона защиты. Однако оба они еще основываются на том, что оператор снова открывает клапаны. Меры безопасности можно иллюстрировать следующим образом:



Надежность мер безопасности ограничивается необходимостью вмешательства оператора. Учитывая сложность операций и ограниченное располагаемое время, следует считать, что имеется только один эффективный эшелон защиты, т.е. эксплуатационная процедура, требующая снижения давления и повторного открытия клапанов. Таким образом, и здесь правильным будет уровень 3.

Пример 3:

Описание события:

Конструктивная схема для этого примера такая же, как в Примере 2. Однако рассматриваемое событие произошло через некоторое время после того, как реактор был остановлен. Принято, что имеется в распоряжении 5 часов для осуществления необходимых действий.

Объяснение оценки:

Как и прежде, имеются два конструктивных эшелона защиты и за ними административный эшелон, но теперь оператор располагает значительно большим временем, чтобы выполнить требуемые операции. Поэтому реально возможные действия оператора можно рассматривать как высокоустойчивый эшелон защиты. В данном случае ограничивающим аспектом мер безопасности являются два конструктивных эшелона. Наличие этих двух конструктивных эшелонов означает, что событие следует классифицировать уровнем 2.

Пример 4:

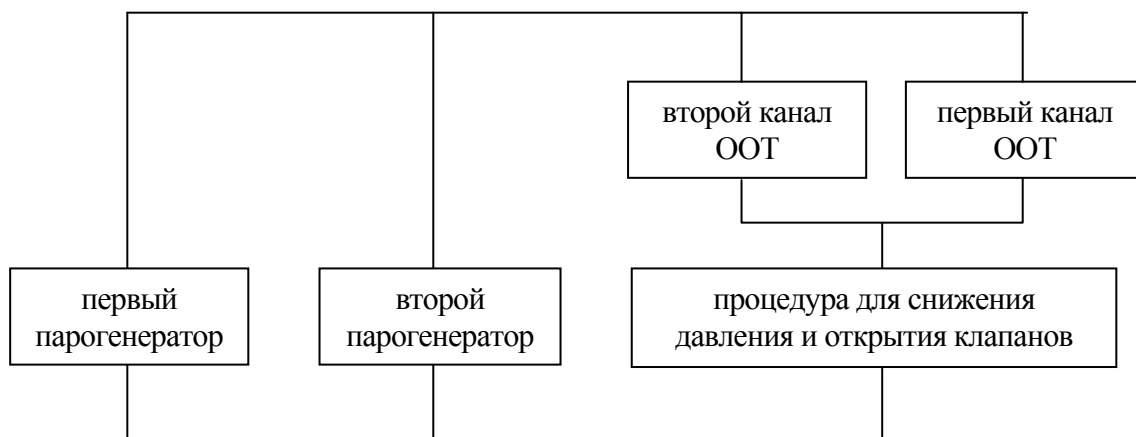
Описание события:

В этом примере конструктивная схема такая же, как для Примера 2, но имеются в готовности еще два парогенератора. И классифицировать требуется такое же событие, как в Примере 2.

Объяснение оценки:

Теперь имеется четыре конструктивных эшелона защиты, но кроме того, готовность парогенераторов не только дает оператору значительно большее время для требуемых операций, но еще оставляет время для проведения ремонта. Меры безопасности иллюстрируются схемой, представленной ниже. Благодаря большому

располагаемому времени все четыре эшелона защиты можно считать вполне эффективными, а событие оценить нулевым уровнем.



Пример 5:

Описание события:

В этом примере рассматривается конструктивная схема из Примера 1, но через одну неделю после останова, когда шахта реактора открыта и заполнена водой. Потеря ООТ теперь приводит только к очень медленному разогреву теплоносителя первого контура, что дает оператору время порядка 10 часов для необходимых действий.

Объяснение оценки:

Для функции безопасности "охлаждение топлива" здесь имеются два эшелона защиты. Первый из них – это система ООТ, а второй – возможность добавлять воду, чтобы поддерживать ее уровень, поскольку вода при нагреве теряется за счет испарения. Второй эшелон защиты можно считать высокоустойчивым по следующим соображениям:

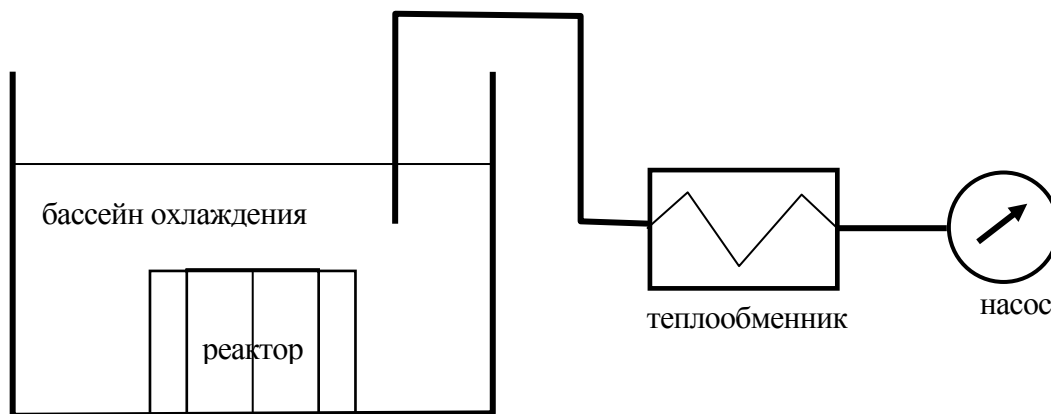
- оператор располагает длительным временем для требуемых действий;
- имеется несколько способов пополнения запаса воды (например, аварийный впрыск низкого давления, пожарные шланги и т.д.), хотя необходимо контролировать концентрацию бора;
- в обосновании безопасности этот эшелон защиты определяется как ключевое средство безопасности.

Кроме того, благодаря большому располагаемому времени первый эшелон более устойчив, чем в Примере 1, так как времени достаточно для ремонта. Слежение за температурным переходным процессом позволяет определять затраченное и еще остающееся время. Поэтому применимы следующие указания:

- незначительные изменения температуры теплоносителя следует, как правило, классифицировать ниже шкалы уровнем 0;
- превышение максимальных допустимых температур или перепадов температур (по времени), указанных в ЭПУ, классифицируется уровнем 1;
- существенный разогрев теплоносителя (например, объемное кипение) классифицируется уровнем 2;
- начало значительного осушения твэлов будет типичным признаком уровня 3.

Пример 6:*Описание события:*

В этом примере исследовательский реактор мощностью 100 кВт имеет большой бассейн охлаждения и систему очистки с теплообменником, как показано на схеме. В случае потери охлаждения разогрев воды будет чрезвычайно медленным.



Требуется классифицировать событие, когда трубопровод за насосом неисправен, и вода откачивалась до нижнего конца всасывающей трубы. Затем отказал и насос вследствие кавитации.

Объяснение оценки:

Вода в бассейне выполняет две функции безопасности: одна – охлаждение топлива, а другая – защита персонала от высоких доз облучения. Сначала нужно оценить максимально возможные последствия, если все эшелоны защиты окажутся неэффективными. Для обеих функций безопасности потенциальные последствия не могут превысить уровень 4 ввиду малого общего количества радиоактивности, так что по состоянию глубокоэшелонированной защиты максимальным будет уровень 2. Для функции охлаждения проектом предусмотрены три эшелона защиты: один – это система с теплообменником, другой – большой объем воды в бассейне и третий – возможность охлаждения топлива на воздухе. Сторона всасывания системы специально спроектирована так, чтобы гарантировать сохранение большого объема воды в бассейне при неисправном трубопроводе. Притом очевидно, что именно объем воды служит основным эшелоном защиты. Его можно считать высокоустойчивым по следующим соображениям:

- приток тепла мал по сравнению с объемом воды, так что разогрев, если и возможен, то будет чрезвычайно медленным. Поэтому потребовалось бы много суток, чтобы уровень воды значительно понизился;
- любое понижение уровня воды легко обнаруживается оператором, и можно восполнить потерю воды несколькими простыми способами;
- в обосновании безопасности установки он определяется как ключевое средство безопасности, и доказана его устойчивость. Всасывающий трубопровод теплообменника тщательно рассчитан так, чтобы гарантировать сохранение достаточного запаса воды.

Таким образом, базовый уровень должен быть нулевым, поскольку сохраняется два эшелона защиты, и один из них высокоустойчивый. Что касается функции безопасности "экранирование", то для нее сохраняется только один эшелон защиты, но он тоже высокоустойчивый, так что базовый уровень остается нулевым.

V-3. ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИМЕРЫ КЛАССИФИКАЦИИ РЕАЛЬНЫХ СОБЫТИЙ

V-3.1. Примеры с использованием метода исходных событий

Пример 1: Быстрый останов реактора, вызванный падением управляющих стержней – уровень 0

Описание события:

Энергоблок работал на номинальной мощности. Во время введения стержней останова (группа А), который производился в рамках периодических контрольных испытаний управляющих стержней, реактор был остановлен защитой по сигналу "высокая отрицательная скорость изменения нейтронного потока в энергетическом диапазоне", который вызвал также автоматическое отключение турбины и генератора. Сразу же было проверено состояние управляющих стержней по указателю их положения. Оказалось, что четыре стержня останова, входящих в группу А, упали раньше останова реактора действием защиты.

Проверка схемы управления приводами стержней показала, что причиной неисправности была дефектная печатная плата. Ее заменили запасной платой, и после проверки схемы управления снова вывели энергоблок в режим номинальной мощности.

Объяснение оценки:

Воздействие за пределами площадки и на площадке здесь не рассматривается. Случайный ввод управляющих стержней не требует действия функций безопасности и поэтому не является исходным событием. Исходным событием (ожидаемым) является быстрый останов реактора, притом при полной готовности функции безопасности "охлаждение топлива". Согласно Разделу IV-3.2.1.3(a), это соответствует клетке А1 в табл. III. Поскольку нет причин для повышения оценки, выбран уровень 0.

Пример 2: Утечка теплоносителя во время перегрузки топлива на мощности – уровень 1

Описание события:

Во время регламентной перегрузки топлива на полной мощности утечка теплоносителя в перегрузочной камере достигла 1,4 т/ч. Операторы определили, что восточный мост перегрузочной машины опустился на 40 см. Реактор был остановлен и расколот. Давление теплоносителя поддерживалось подачей воды с других энергоблоков и из бака-приямка. Суммарная утечка составила 22 т (около 10% общего объема теплоносителя). Не потребовалось действия систем безопасности, за исключением герметизации защитной оболочки по сигналу высокой активности через 1 час. Не было превышающих норму выбросов в окружающую среду.

Объяснение оценки:

Воздействие за пределами площадки и на площадке не рассматривается. Хотя имела место очень малая утечка теплоносителя реактора, не потребовались функции безопасности, поскольку запас воды поддерживался действиями операторов. В случае дальнейшего развития события в аварию с малой течью теплоносителя все необходимые

системы безопасности были полностью работоспособны. Следовательно, событие соответствует уровню 0.

Но причиной происшествия явилась неисправность блокировки, которая не была проверена по программе контроля. Кроме того, об этом недостатке было известно до события. По этим соображениям оценка события повышена до уровня 1 (см. Раздел IV-3.3).

Пример 3: Неготовность спринклерной системы защитной оболочки из-за клапанов, оставленных в закрытом положении – уровень 1

Описание события:

На двухблочной станции приходится ежегодно останавливать оба реактора, чтобы провести требуемые испытания общей системы аварийного охлаждения активной зоны (САОЗ) и связанных с этим автоматических функций защиты. Такие испытания обычно проводятся, когда один из двух реакторов находится в состоянии "холодного" останова для перегрузки топлива.

9 октября эти испытания были проведены на энергоблоках 1 и 2. Энергоблок 1 оставался в состоянии "холодного" останова для перегрузки топлива, а энергоблок 2 был 14 октября возвращен в режим работы на мощности. 1 ноября во время ежемесячной проверки предохранительных клапанов оказалось, что закрыты четыре клапана с напорной стороны спринклерных насосов защитной оболочки. Установлено, что эти клапаны, вопреки требованиям соответствующей программы испытаний, не были снова открыты после испытаний 9 октября. Следовательно, энергоблок 2 в течение 18 дней работал с не готовой к действию спринклерной системой защитной оболочки.

Сделан вывод, что причиной события явилась ошибка человека. Однако установлено, что эта ошибка случилась в конце периода испытания, продолжавшегося дольше, чем обычно (из-за устранения выявленных неисправностей), и что был бы весьма полезен более строгий и формализованный учет операций.

Объяснение оценки:

Воздействие за пределами площадки и на площадке не рассматривается. Не было реального исходного события, ухудшилась работоспособность функции безопасности "удержание радиоактивного материала". Ее работоспособность была меньше, чем минимально требуемая в ЭПУ, но больше, чем только достаточная, благодаря готовности другой системы. Исходным событием, которое потребовало бы действия затронутой функции безопасности, могла быть большая течь теплоносителя (маловероятное событие). В соответствии с Разделом IV-3.2.1.3(b) для такого случая подходит клетка С3 в табл. IV. Неисправность была вызвана ошибкой человека, но это не является основанием для повышения уровня события. (В Приложении III поясняется, что выбор уровня 1 вместо нулевого для базовой оценки уже учитывает факт нарушения ЭПУ.)

Пример 4: Утечка воды из первого контура через разрывную мембрану барботажного бака компенсатора давления – уровень 1

Описание события:

Энергоблок находился в состоянии "горячего" останова. Система отвода остаточного тепла (СООТ) была изолирована и частично опорожнена для испытаний (после конструктивных изменений), и поэтому не была в состоянии готовности. Проводилось периодическое испытание эффективности спринклерной системы

компенсатора давления, и давление в первом контуре составляло 159 ат. Около 16:00 поступил предупредительный сигнал о повышении давления в барботажном баке компенсатора давления. Уровень в баке подпитки падал, что указывало на утечку из первого контура порядка $1,5 \text{ м}^3/\text{ч}$. Оператор пошел в реакторное здание, чтобы попытаться обнаружить место течи, и решил, что протекает по штоку клапан в одном из трубопроводов первого контура (ручной клапан на байпасной линии датчика температуры). Оператор проверил плотность этого клапана, подтянув его маховиком в крайнее положение (в действительности клапан остался еще не полностью закрытым). Утечка продолжалась, и в 18:00 был вызван персонал ремонтной службы, но им тоже не удалось найти источник течи.

За это время давление и температура в барботажном баке компенсатора давления продолжали расти. Оператор поддерживал температуру ниже 50°C посредством операций продувки, т.е. впрыска холодной подпиточной воды и сброса в дренажный бак первого контура. Два насоса, установленные параллельно, направляют этот сток из реакторного здания в бак системы рециркуляции борной кислоты.

Около 21:00 датчики активности показали прирост уровня радиоактивности в реакторном здании, который в 21:56 достиг значения уставки частичной изоляции защитной оболочки. В результате последовало закрытие клапанов системы вентиляции и дренажа радиоактивной части внутри защитной оболочки. С этого момента дренажный поток уже не мог поступать в борный контур. Давление в барботажном баке продолжало нарастать до 21:22, когда наступил разрыв мембран. Чтобы поддерживать температуру в этом баке около 50°C , пришлось продолжать подпитку водой до 23:36. В 01:45 уровни активности внутри реакторного здания упали ниже уставки изоляции защитной оболочки.

В 02:32 давление в первом контуре составляло 25 ат, энергоблок находился в подкритическом состоянии "горячего" останова с отводом тепла через парогенераторы. СООТ оставалась еще неработоспособной.

В 10:54 СООТ была приведена в рабочее состояние, а в 11:45 протекающий клапан на трубопроводе первого контура отключен от его дистанционного управления, чтобы его можно было притереть, и тем самым прекратить утечку.

Объяснение оценки:

Воздействие за пределами площадки и на площадке не рассматривается. Реального исходного события не было, поскольку не потребовались системы безопасности, обеспечивающие аварийное охлаждение активной зоны. Начавшаяся утечка оставалась под контролем с помощью систем нормальной подпитки (см. Раздел IV-3.2.1.1). Такому случаю соответствует уровень 0.

Ложное иницирование изоляции защитной оболочки привело к затруднениям в работе и к неверной информации. По этим соображениям оценка события повышена до уровня 1 (см. Раздел IV-3.3).

Пример 5: Потеря принудительной циркуляции газа на 15-20 минут – уровень 2

Описание события:

Однофазное короткое замыкание (КЗ) в схеме электропитания КИПиА реактора 1 не было отключено автоматически и сохранялось до ручного переключения источников питания. КЗ вызвало закрытие клапанов подачи теплоносителя высокого и низкого давления на одном парогенераторе, и медленную остановку (выбег) соответствующей газодувки с паротурбинным приводом. Перестали действовать многие приборы и элементы автоматики парогенераторов и реактора 1. Остался возможным ручной ввод регулирующих стержней, и это было сделано, но скорость их введения оказалась

недостаточной, чтобы предупредить повышение температуры; в свою очередь, это привело к автоматическому аварийному останову реактора 1 по повышению абсолютной температуры твэлов (превышение приблизительно на 16°C). Оператор считал неработоспособными все системы управления регулирующими стержнями. Сохранилась работоспособность ответственной аппаратуры и системы защиты реактора с резервным питанием от аккумуляторных батарей, а также некоторых нормальных систем КИПиА.

Все газодувки постепенно остановились, поскольку нарушилась подача пара в их турбины. Отказ питания приборов не позволял включить вспомогательные электродвигатели газодувок автоматически или вручную. подача теплоносителя низкого давления сохранялась все время для трех из четырех парогенераторов, а для четвертого была восстановлена вмешательством оператора. После начального переходного процесса, вызвавшего останов реактора, температура твэлов упала, но затем повышалась вследствие нарушения принудительной циркуляции газа. Эта температура стабилизировалась на уровне около 50°C ниже нормальной рабочей величины, прежде чем были включены вспомогательные электродвигатели газодувок от резервных источников питания приборов. Реактор 2 не был затронут и работал на полной мощности. Реактор 1 был возвращен в режим работы на мощности на следующий день.

Объяснение оценки:

Воздействие за пределами площадки и на площадке не оценивается. Этот инцидент следует рассматривать в два этапа. Первым исходным событием явился переходный процесс, вызванный потерей подачи теплоносителя в один парогенератор, вместе с потерей показаний приборов. Это потребовало действия системы защиты, которая еще была в состоянии полной готовности. Поэтому следовало бы эту часть инцидента оценить уровнем 0. Следует отметить, что первым происшествием в инциденте был отказ в электропитании КИПиА. Это привело к нарушению подачи теплоносителя в один парогенератор, но не затронуло непосредственно какие-либо системы безопасности, поэтому не считается исходным событием. Последующий переходный режим потребовал действия системы защиты и, следовательно, является исходным событием.

Вторым исходным событием стал останов реактора защитой и останов газодувок с паротурбинным приводом. Это потребовало выполнения функции безопасности "охлаждение топлива". Работоспособность этой функции безопасности была меньше, чем минимально требуемая по ЭПУ, поскольку не удалось запустить ни один из вспомогательных электродвигателей, но больше, чем только достаточная, так как естественная циркуляция обеспечивала эффективное охлаждение, а принудительная циркуляция была восстановлена прежде, чем температура могла бы возрасти до недопустимых значений. В Разделе IV-3.2.1.3(a) такой ситуации соответствует клетка С1 табл. III, которая дает уровень 2 или 3. Как поясняется в этом разделе, выбор уровня здесь зависит от того, насколько работоспособность больше, чем только достаточная. В данном случае, ввиду наличия естественной циркуляции и ограниченного времени неготовности принудительной циркуляции, правильнее будет уровень 2.

Что касается возможного повышения оценки, здесь следует рассмотреть два вопроса, указанные в Разделе IV-3.3. Во-первых, имел место отказ всех газодувок по общей причине. Но этот факт уже был учтен в базовой классификации, и повышение уровня по этой причине означало бы двойной учет (см. вводную часть Раздела IV-3.3, пункт (а)). Второй фактор – затруднения, вызванные отсутствием показаний приборов. Однако это обстоятельство больше относится к управлению начальным переходным процессом и едва ли могло бы ухудшить ситуацию с охлаждением после останова реактора. Кроме того, как следует из пункта (с) Раздела IV-3.3, уровень 3 не подходит, так как дальнейший единичный отказ компонента не привел бы к аварии.

Пример 6: Падение тепловыделяющей сборки во время перегрузки топлива – уровень 1

Описание события:

При выполнении операций по перегрузке топлива, после подъема тепловыделяющей сборки (ТВС) из ее ячейки произошло самопроизвольное выдвижение телескопической штанги перегрузочной машины, и свежая ТВС осела на центральную трубу транспортного чехла (контейнера) со свежими ТВС. Блокировки сработали надлежащим образом, и не произошло повреждения топлива или разгерметизации.

Объяснение оценки:

Воздействие за пределами площадки и на площадке не оценивается. Хотя инцидент затронул только необлученное топливо, он мог бы произойти и с облученным топливом. Поэтому при оценке нужно учитывать состояние глубокоэшелонированной защиты. Падение одной ТВС определяется в Приложении IV как возможное исходное событие, а в Разделе IV-3.2.1.3 это соответствует уровню 1 (клетка А2 в табл. III). Применение указаний Раздела V-1.7.2 дало бы такой же уровень, и нет причин для его повышения.

Пример 7: Частичное засорение водозабора одного энергоблока и потеря внешнего электроснабжения второго энергоблока в холодную погоду – уровень 3

Описание события:

Практически произошли два отдельных инцидента по одной и той же причине: частичное засорение водозабора энергоблока 1 и, через два часа, потеря внешнего электропитания на энергоблоке 2. Чтобы упростить пример, здесь рассматривается только воздействие на энергоблоке 2. Первоисточником двойного происшествя стала холодная (морозная) погода, преобладавшая в то время в районе: плавучий лед забил водозабор, а отключение обычного (неядерного) энергоблока, тоже под влиянием низких температур, привело к падению напряжения в сети электропередачи.

Засорение насосной станции на энергоблоке 1 могло произойти следующим образом. Вероятно, лед в виде шуги проскальзывал под пеноотделителем, достигая мусороудерживающих решеток насосной станции энергоблока 1, здесь слипался и намерзал в твердый ком, который частично закрыл решетки с двумя фильтрующими барабанами. Это привело к значительно меньшему поступлению воды в водозабор, причем не было аварийного сигнала, указывающего на понижение уровня.

В результате понижения уровня падение вакуума в конденсаторах привело к автоматическому отключению четырех турбогенераторов собственных нужд на площадке (между 9:30 и 9:34); четыре соответствующих шины в течение одной секунды были переключены на питание от сети.

Главные турбогенераторы энергоблока 1 были отключены в 9:28 и 9:34, и реактор остановлен.

Энергоблок 2 еще работал, хотя с 9:33 до 10:35 не было работоспособных турбогенераторов собственных нужд на площадке (ситуация, предусмотренная общими правилами эксплуатации), а источниками электропитания оставались только сеть электропередачи и два основных турбогенератора энергоблока. Начиная с 10:55, когда второй турбогенератор собственных нужд был снова подключен к своему распределительному устройству, электропитание двух турбогазодувок обеспечивалось от действующих турбогенераторов собственных нужд, а двух других газодувок - от одной из двух линий 400 кВ.

В 11:43 за падением напряжения в сети последовало почти одновременное отключение двух главных турбогенераторов на энергоблоке 2, что вызвало сброс стержней СУЗ и аварийный останов реактора, а также сопровождалось потерей внешнего электроснабжения (размыкание линейных выключателей).

В это время действовали только два из четырех турбогенераторов собственных нужд и, соответственно, только две из четырех турбогазодувок могли поддерживать охлаждение активной зоны. Линии электропередачи, связывающие энергоблок 2 с сетью, были восстановлены через 10 и 26 минут, и тогда удалось снова пустить другие газодувки.

Объяснение оценки:

Воздействие за пределами площадки и на площадке не рассматривается. Из всей сложной совокупности событий оценивается работа энергоблока 2 без основных источников электроснабжения на площадке (потерянных вследствие нарушения подачи охлаждающей воды, в свою очередь вызванного намерзанием льда на водозаборе). Не было исходного события, но ухудшилась функция безопасности "охлаждение топлива". Работоспособность функции безопасности была недостаточной, поскольку на площадке не было источников электропитания, чтобы компенсировать потерю внешнего питания (ожидаемое исходное событие). Согласно Разделу IV-3.2.1.3(b), этому соответствует клетка D1 в табл.IV, которая дает уровень 3. Хотя период неготовности был непродолжителен, но велика вероятность потери внешнего электроснабжения, что и произошло вскоре. Поэтому нет оснований для снижения уровня.

Пример 8: Неточная калибровка локальных детекторов превышения мощности - уровень 1

Описание события:

Во время регламентной калибровки локальных детекторов превышения мощности для систем останова 1 и 2 был использован неверный поправочный коэффициент - для мощности 96%, хотя реактор работал на 100%-ной мощности. Эта ошибка в калибровке была обнаружена приблизительно через 6 часов, и тогда все детекторы были перекалиброваны на правильное значение для режима работы на полной мощности. Поэтому в течение 6 часов была понижена эффективность этого параметра для обеих систем останова.

Объяснение оценки:

Воздействие за пределами площадки и на площадке не рассматривается. Не было реального исходного события, но снижена работоспособность системы защиты. Эта работоспособность была меньше, чем минимально требуемая по ЭПУ, но больше, чем просто достаточная, благодаря резервированию, так как оставался эффективным второй параметр защиты (быстрого останова). Кроме того, в худшем случае защиту могли обеспечить и неправильно откалиброванные детекторы. Защита требовалась для ожидаемых исходных событий. Согласно Разделу IV-3.2.1.3(b), подходит клетка C1 табл.IV, т.е. уровни 1 или 2. Выбран уровень 1, так как работоспособность оставалась значительно больше, чем только достаточная.

Что касается возможных корректировок базового уровня, можно учесть, что ошибка сохранялась недолгое время. Но с другой стороны, имели место недостатки в процедуре. Поэтому решено было оставить уровень 1.

Пример 9: Отказ канала систем безопасности во время регламентных испытаний - уровень 1*Описание события:*

Энергоблок работал на номинальной мощности. Во время регламентных испытаний одного дизель-генератора отказала его система управления. Дизель был выведен из эксплуатации для текущего ремонта и техобслуживания приблизительно на 6 часов. Технологический регламент требует, чтобы в случае вывода из эксплуатации одного дизель-генератора были проверены (испытаны) другие каналы систем безопасности. Такое испытание не было проведено за этот период. Позднее другие каналы систем безопасности были проверены и оказались исправными.

Объяснение оценки:

Приведенное здесь обоснование правильно при условии, что были проведены дополнительные испытания, подтвердившие готовность двух каналов.

Критерии воздействия за пределами площадки и на площадке не оцениваются. Не было исходного события, но ухудшилась функция безопасности "охлаждение топлива". Работоспособность была не ниже, чем минимально требуемая ЭПУ, поскольку оставались исправными два канала. В Разделе IV-3.2.1.3(b) клетка A1 табл.IV дает нулевой базовый уровень. Однако операторы нарушили технологический регламент, поэтому в соответствии с Разделом IV-3.3 оценка события повышена до уровня 1.

Пример 10: Малая течь в первом контуре – уровень 2*Описание события:*

Очень малая течь (выявленная только измерением влажности) обнаружена в неизоллируемой части одного из трубопроводов аварийного впрыска. Течь возникла вследствие дефектов, которые не были предусмотрены в программе контроля (данный участок не инспектировался по этой программе). Подобные, но меньшие дефекты имелись в других трубопроводах аварийного впрыска.

Объяснение оценки:

Согласно Разделу IV-3.2.3, если бы дефект привел к разрушению компонента, то возникла бы авария с большой потерей теплоносителя (маловероятное исходное событие). В Разделе IV-3.2.1.3(a) клетка A3 табл.III дает уровень 2 как верхний предел базовой оценки. Поскольку в действительности имела место только течь (а не разрушение трубопровода), оценку следовало бы уменьшить на одну ступень. Однако дефекты могли бы привести к отказу всех трубопроводов аварийного впрыска по общей причине, поэтому оценка снова повышена до уровня 2.

Пример 11: Аварийный останов энергоблока, вызванный возмущениями в энергосистеме вследствие урагана – уровень 3*Описание события:*

Энергоблок работал стабильно на номинальной мощности, когда ураган повредил линии электропередачи. Энергоблок был остановлен системой аварийной защиты вследствие сильных колебаний частоты в энергосистеме.

Электропитание осуществлялось от трансформатора собственных нужд. Сохранялось давление в главном паровом коллекторе и отвод остаточного тепла. Охлаждение активной зоны обеспечивались за счет естественной циркуляции.

По падению напряжения поступил сигнал на запуск дизелей, но дизель-генераторы (ДГ) не подключились к шинам надежного питания. Поскольку этот сигнал сохранялся, продолжались периодические повторные запуски. Последующие попытки запитать от ДГ шины собственных нужд оказались безуспешными ввиду отсутствия сжатого воздуха в пусковых баллонах.

Через четыре часа после останова реактора наступила полная потеря электроснабжения. Еще через полчаса было восстановлено питание от внешнего источника. В течение всего переходного процесса состояние активной зоны контролировалось с помощью аппаратуры, предусмотренной проектом.

Объяснение оценки:

Воздействие за пределами площадки и на площадке не рассматривается. Инцидент классифицирован по воздействию на глубокоошелонированную защиту. Произошло реальное исходное событие из категории ожидаемых: полная потеря внешних источников переменного тока, включая колебания напряжения и частоты вследствие урагана. Готовность функции безопасности была только достаточной, учитывая ограниченное время потери внешних источников питания.

Согласно Разделу IV-3.2.1.3(a), подходит уровень 2 или 3. Поскольку функция безопасности была только достаточной, выбран уровень 3. Кроме того, имело место нарушение ЭПУ: операторы приступили к выводу реактора на минимально контролируемый уровень мощности, когда ДГ не были готовы к выполнению функции безопасности при полной потере электроснабжения энергоблока.

Пример 12: Полное обесточивание станции вследствие пожара в турбинном здании – уровень 3

Описание события:

Когда реактор с тяжелой водой под давлением (PHWR) работал на полной мощности, возник пожар в турбинном здании. Реактор был остановлен вручную, и начато его расхолаживание.

В результате пожара были повреждены многие кабели и другое электрооборудование, что привело к полному обесточиванию станции. Отвод остаточного тепла из активной зоны осуществлялся за счет естественной циркуляции. Для подачи питательной воды в парогенераторы использовали пожарные насосы с дизельным приводом. В контур замедлителя добавляли борированную тяжелую воду, чтобы поддерживать подкритическое состояние реактора на всех стадиях.

Объяснение оценки:

Инцидент не оказал воздействия ни за пределами площадки, ни на площадке. Потеря электропитания на площадке (класса IV, III, II или I) представляет собой возможное исходное событие для реакторов PHWR, которое произошло в действительности. Функция безопасности "охлаждение" была достаточной, так вода во второй контур подавалась с помощью дизельных пожарных насосов, что не является нормальной системой безопасности. Согласно Разделу IV-3.2.1.3(a), событие оценивается уровнями 2/3. Выбран уровень 3, поскольку отказы по общей причине (пожар и ухудшение состояния имеющихся систем безопасности вследствие потери многих

показаний) таковы, что ряд возможных единичных отказов в дальнейшем мог бы привести к аварии.

V-3.2. Примеры, основанные на методе эшелонов защиты

Пример 13: Повышение давления в незаполненном объеме аппарата для растворения твэлов – уровень 0

Описание события:

Измеренный небольшой рост давления в незаполненном объеме бака аппарата-растворителя перерабатывающей установки привел к автоматической остановке процесса. Нагревательная система аппарата была выключена и использовано водяное охлаждение; подача азотной кислоты в аппарат прекращена, и реакция растворения приостановлена добавлением воды в бак. Не было выброса аэрозольных загрязнений в зону обслуживания установки или в окружающую среду. Дальнейшее расследование показало, что давление возросло вследствие слишком быстрого парообразования и выделения азотистых паров, в свою очередь вызванных кратковременным увеличением скорости растворения топлива.

Объяснение оценки:

Событие не оказало воздействия ни за пределами площадки, ни на самой площадке. Ввиду отклонения в технологическом режиме процесс был автоматически остановлен, все стадии остановки прошли нормально. Эшелоны защиты не нарушены. Поэтому в качестве базового выбран уровень 0, и нет причин для его повышения.

Пример 14: Работник получил интегральную дозу на все тело выше нормативного предела – уровень 1

Описание события:

Доза облучения на все тело, полученная руководителем установки за последние две недели в декабре, оказалась немного больше допустимой или ожидаемой величины, и в результате его интегральная доза на все тело превысила нормативно установленный годовой предел.

Объяснение оценки:

Событие не оказало воздействия за пределами площадки, а на площадке воздействие было ниже порога значимости. Базовая оценка – уровень 0, поскольку не было ухудшения эшелонов защиты, предупреждающих значительное переоблучение персонала. Однако был превышен годовой предел интегральной дозы на все тело, поэтому событие следует классифицировать уровнем 1 в соответствии с Разделом IV-3.3.

Пример 15: Отказ блокировочной системы защитных дверей – уровень 2

Описание события:

Инцидент произошел во время перемещения контейнера с остеклованными высокоактивными отходами в камеру, когда защитные (экранированные) двери в камеру были открыты после операций технического обслуживания. Открытие дверей контролировалось системой сменных ключей, блокировкой от гамма-детекторов и

программируемыми логическими контроллерами. Первоначальный проект системы доступа в камеру два раза модифицировали в период пуска, с целью усовершенствования. Однако все эти системы не смогли предупредить перенос высокоактивного материала в камеру, когда ее двери были открыты.

Доступ персонала в эту зону разрешается только по допуску, который требует ношения индивидуальных сигнализирующих дозиметров. Люди, которые находились бы в камере или вблизи нее, могли получить значительную дозу облучения, если бы они не среагировали на перемещение контейнера или на предупредительный звуковой сигнал своих дозиметров. Оператор быстро заметил нарушение и закрыл защитные двери, так что никто не получил лишнюю дозу.

Проект установки в части, касающейся доступа людей в камеры, был модифицирован во время пуско-наладочных работ, но последствия этих изменений не были учтены в достаточной мере. В частности:

(а) Приемка системы со сменными ключами для блокировки защитных дверей не выявила недостатков этой системы.

(б) Схема программного логического управления не была правильно запрограммирована и отлажена.

(с) Изменения слабо контролировались, не была правильно оценена их значимость с точки зрения безопасности.

(д) Не поддерживалась должная связь между проектировщиками и пуско-наладочным персоналом.

Наряд-допуск на проведение работ был закрыт, что свидетельствовало о возврате объекта в нормальное состояние, хотя на самом деле это было не так. Система так называемых "предложений о временных изменениях" слишком часто применялась на данном объекте и недостаточно контролировалась, и вся эта система требовала улучшения. Кроме того, были неудовлетворительно организованы обучение персонала и контроль за доступом в "горячие" камеры.

Объяснение оценки:

Хотя несколько эшелонов защиты были нарушены, оставался еще один, а именно: процедура допуска к работам для входа в камеры, которая требует применения индивидуальных сигнализирующих дозиметров. Максимально возможные последствия при таких операциях оцениваются уровнем 4 (смерть работника), что соответствует базовому уровню 2.

Пример 16: Неудовлетворительный контроль критичности – уровень 1

Описание события:

Проверка соблюдения правил эксплуатации на предприятии по изготовлению топлива показала, что шесть выборочных проб топливных таблеток упакованы неправильно. Помимо разрешенной упаковки, каждая из них была помещена в дополнительный пластмассовый контейнер, который должен был находиться на складе вопреки требованию "без дополнительных водородсодержащих материалов, кроме разрешенной упаковки". Дальнейшее расследование показало, что сертификат контроля критичности сформулирован неясно, и связанная с ним оценка критичности не вполне понятна с точки зрения безопасности.

Объяснение оценки:

Максимально возможные последствия критичности соответствуют уровню 4 (т.е. смерть работника). Поэтому максимальная оценка по состоянию глубокоэшелонированной защиты могла бы выражаться уровнем 2 (Раздел IV-3.2.2.3). Сохранившиеся эшелоны защиты:

- меры контроля, предупреждающие затопление или залив (предусмотренные в обосновании безопасности);
- инспекции, которые должны выявлять отклонения от допущений, принятых в обосновании безопасности (например, присутствие другого водородсодержащего материала).

Следовательно, имеются два эффективных эшелона защиты, и базовым будет уровень 1. Такой уровень подходит и потому, что:

- операции производились с отклонением от ЭПУ;
- недостатки в культуре безопасности не позволили обеспечить адекватные оценку и документацию.

Пример 17: Длительная потеря вентиляции на предприятии по изготовлению топлива – уровень 1

Описание события:

Вследствие потери нормальной и аварийной вентиляции и несоблюдения процедур операторы в течение часа работали без динамического удержания радиоактивности. Вентиляция выполняет двойную роль. Во-первых, направляет радиоактивность, которая рассеивалась бы в замкнутом помещении, в каналы контролируемого отвода и фильтрации. Во-вторых, она создает небольшое разрежение в таком замкнутом помещении, чтобы предупредить перенос радиоактивности в другие зоны. Такую форму локализации называют "динамическим удержанием".

Инцидент начался с потери электропитания нормальной вентиляционной системы. Аварийная вентиляционная система, которая должна была принять на себя эту функцию, не включилась. Последующее расследование показало, что неисправность нормальной вентиляционной системы и отказ аварийной системы были вызваны взаимосвязанными отказами в схемах электропитания обеих вентиляционных систем. Аварийная сигнализация сработала на посту охраны, но информация не поступила к руководителям и оперативному персоналу.

Оперативный персонал был проинформирован о срабатывании сигнализации только через час после начала смены.

Результаты измерений загрязнения воздуха на всех контролируемых участках не показывали каких-либо признаков увеличения загрязнения.

Объяснение оценки:

Система ступенчатой вентиляции предназначена для того, чтобы направлять потоки воздуха из зон с малым загрязнением в зоны с последовательно возрастающим (фактически или потенциально) загрязнением. Если в период отказа вентиляции произошло событие, сопровождающееся повышением давления, то часть загрязненного воздуха, который нормально отводится через систему фильтров, поступала бы в зону обслуживания и затем в атмосферу без должной степени очистки. Максимально возможные последствия достигали бы:

- на площадке: уровня 3 (обширное загрязнение воздуха);

- за пределами площадки: уровня 4.

Следовательно, максимальной оценкой по состоянию глубокоэшелонированной защиты может быть уровень 2.

Сохранились следующие независимые меры безопасности, без учета конечных аварийных процедур:

- установленные (автоматические) системы пожаротушения,
- конструкция здания, которая предусматривает как удержание, так и дезактивацию для уменьшения дозовых нагрузок,
- отсутствие горения топлива.

Согласно Разделу IV-3.2.2.3, имеется больше двух эффективных эшелонов защиты, что соответствует базовому уровню 0. Однако были нарушены ЭПУ (работа продолжалась без вентиляции), поэтому событие классифицируется уровнем 1.

Пример 18: Потеря вентиляции в хранилище продуктов деления – уровень 1

Описание события:

Для удержания высокоактивных жидких отходов служат:

- емкости;
- две отдельные 100%-ные системы вытяжной вентиляции, которые предотвращают перенос радиоактивности в другие зоны и направляют ее в контуры обработки и фильтрации;
- системы охлаждения, предупреждающие кипение;
- пульсационные системы безопасности, предупреждающие образование "горячих" точек в емкостях вследствие осаждения твердых частиц;
- специальная система вытяжной вентиляции для отбора водорода, предупреждающего взрыв.

Произошло полное отключение систем вытяжной вентиляции. Градиент давления между камерами и другими участками не был гарантирован приблизительно в течение трех часов. Однако оставались в нормальном состоянии средства безопасности, предназначенные для снижения концентрации водорода (резервуар сжатого воздуха и баллоны с азотом).

Объяснение оценки:

Вентиляционная система требуется для трех целей:

- (a) поддержание концентрации водорода ниже нижнего предела взрываемости;
- (b) контроль радиоактивных выбросов в фильтро-вентиляционном тракте;
- (c) поддержание градиентов давления между емкостями, камерами и зонами обслуживания оборудования.

Длительная потеря вентиляции в случае пожара или взрыва в вентиляционной системе емкости могла бы вызвать:

- переоблучение персонала (максимальный уровень 2 при повышении давления);
- обширное загрязнение воздуха на площадке (максимальный уровень 3);
- увеличение выбросов в атмосферу через вентиляционные тракты камер, в которых степень фильтрации меньше, чем в вентиляционных трактах емкостей (максимальные последствия могут превысить уровень 4);

- повреждение оборудования, но с сохранением возможности полного возврата и удержания радиоактивных материалов (уровень 4).

Остающиеся эшелоны защиты:

- охлаждение емкостей, которое ограничивает скорость газовыделения, вместе с измерением концентрации H_2 , аварийной сигнализацией и возможностью разбавлять (вытеснять) кислород азотом, если концентрация водорода начнет повышаться;
- отсутствие физического механизма, инициирующего вспышку или взрыв;
- исправные фильтро-вентиляционные системы, удаленные от емкости и здания, а также конструкция камер, которая действует как защитная оболочка, и система дезактивации, которая позволяет уменьшить воздействие выбросов.

В соответствии с Разделом IV-3.2.2.3 максимально возможные последствия достигают уровня 5, но имеются три эффективных эшелона защиты. Следовательно, базовым является уровень 1, и нет причин для его повышения.

Пример 19: Утеря герметизированного источника – уровень 2

Описание события:

Источник ^{226}Ra с активностью 2 ГБк используется для функциональных испытаний измерительной аппаратуры. Во время испытания ряда дозиметров обнаружено отсутствие этого источника в его защитном контейнере. Источник был найден в пределах контролируемой зоны; он лежал в коридоре, свободно доступном для персонала.

Объяснение оценки:

Такой источник дает мощность дозы 80 Зв/ч на расстоянии 1 см, явно достаточную, чтобы вызвать радиационные ожоги (уровень 3) за несколько минут облучения, или даже смерть. Максимальной оценкой по глубокоэшелонированной защите будет уровень 2. Учитывая короткое время, все потенциальные эшелоны защиты оказались неэффективны. Следовательно, событие классифицируется уровнем 2.

Пример 20: Разлив жидкости, содержащей плутоний, на полу лаборатории – уровень 2

Описание события:

В перчаточном боксе отсоединился гибкий шланг, по которому подавалась охлаждающая вода в стеклянный конденсатор. Вода залила бокс и заполнила перчатку так, что она разорвалась. Разлившаяся вода содержала около 2,3 ГБк ^{239}Pu .

Объяснение оценки:

Лаборатория не была рассчитана на удержание разлива. Оценка разлива выражается его радиологическим эквивалентом порядка нескольких сотен гигабеккерелей ^{106}Ru .

Из Раздела III-2.3:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Бк } ^{239}\text{Pu} &= 3000 \text{ Бк } ^{106}\text{Ru}; \\ 2,3 \text{ ГБк } ^{239}\text{Pu} &= 6,9 \cdot 10^3 \text{ ГБк } ^{106}\text{Ru}. \end{aligned}$$

Эквивалентная величина активности больше, чем для уровня 2, но меньше, чем для уровня 3 (порядка нескольких тысяч терабеккерелей). Маловероятно, что разлившаяся жидкость (в отличие от утечек в дисперсной форме) вызовет значительное облучение персонала.

Пример 21: Обнаружение ядерного материала в предположительно пустых транспортных емкостях – уровень 1

Описание события:

Предприятие по изготовлению топлива получило партию импортного диоксида урана, обогащенного ^{235}U . Этот материал перевозится в специальных бидонах с механическим уплотнением, помещенных в морской контейнер. После извлечения материала изготовитель топлива отправляет пустые бидоны обратно поставщику.

Получив контейнер со 150 возвратными бидонами, поставщик обнаружил в нем два полных бидона, содержащих в сумме 100 кг диоксида урана. Расчетная активность материала составляла $8 \cdot 10^9$ Бк, однако, наружная поверхность бидонов и морского контейнера была радиационно-чистой. Никто из персонала или населения не получил непредусмотренной дозы вследствие этого события.

Объяснение оценки:

Упаковка пустых бидонов должна быть такой же, как полных (сохраняется механическое уплотнение, как и состояние контейнеров), но предъявляются менее строгие требования к маркировке груза и к мерам предосторожности при обращении с ним. Следовательно, имело место нарушение ЭПУ, и (согласно Разделу V-1.11) событие классифицируется уровнем 1.

Пример 22: Полная потеря охлаждения во время останова – уровень 1

Описание события:

Охлаждение остановленного реактора было полностью потеряно на несколько часов после автоматического закрытия запорных клапанов на стороне всасывания действующей системы ООТ. Эти клапаны закрылись вследствие потери электропитания Секции 2 защитной системы ядерной безопасности. Альтернативный источник питания был неработоспособен ввиду его техобслуживания. Энергоблок уже длительное время находился в состоянии останова (около 16 месяцев), и остаточное тепловыделение было очень мало. В период отсутствия охлаждения вода в корпусе реактора начала нагреваться со скоростью около $0,3^\circ\text{C}/\text{ч}$. Система ООТ была восстановлена приблизительно через 6 часов после закрытия клапанов.

Объяснение оценки:

Поскольку реактор находился в остановленном состоянии, для оценки следует использовать метод эшелонов защиты.

(а) В данном случае оставалось в распоряжении очень длительное время, прежде чем могли бы наступить какие-то существенные последствия (такие, как повреждение активной зоны или значительный радиоактивный выброс). Такое располагаемое время позволяет осуществить широкий круг мер, чтобы исправить ситуацию, и поэтому может рассматриваться как высокоустойчивый эшелон защиты (см. Раздел IV-3.2.2.1). Ввиду наличия этого высокоустойчивого эшелона базовой оценкой события будет уровень 1.

(b) Полагая, что конфигурация не соответствовала ЭПУ, и учитывая располагаемое время для восстановления, получаем уровень 1.

(c) Если бы тепловыделение не было очень медленным, то располагаемое время было бы значительно короче, и его нельзя рассматривать как высокоустойчивый эшелон защиты. В таком случае эффективными эшелонами защиты являются:

- процедуры и действия операторов для восстановления электропитания Секции 2 защитной системы ядерной безопасности;
- процедуры и действия операторов для восстановления ООТ с альтернативными системами.

Максимально возможные последствия для рассматриваемой установки достигают уровня 5 и выше, так что следует применить первый столбец табл.V. Поскольку сохранились два эшелона защиты, событие классифицировано уровнем 2.

Пример 23: Резкое увеличение мощности в исследовательском реакторе во время перегрузки топлива – уровень 2

Описание события:

Резкое увеличение мощности, которое привело к аварийному останову реактора по превышению мощности, произошло во время операций по перегрузке топлива. Исследовательский реактор бассейнового типа обычно работает на мощности 2 МВт. В нем заменили сборку управляющих (компенсационно-аварийных) стержней, и требовалось вернуть в активную зону топливные сборки. После загрузки пятой топливной сборки управляющие стержни были выведены, чтобы проверить, что реактор не критичен. При этом их вывели на 85% вместо требуемых 40% (безопасное состояние). При вводе шестой топливной сборки наблюдалось голубое свечение, и реактор был остановлен аварийной защитой по превышению мощности. Ранее защита LogN была отключена (шунтирована), чтобы избежать ее ложных срабатываний при перемещении облученных топливных кассет в положение для загрузки в активную зону, и эту перемычку не убрали. По оценке, пиковая величина мощности в переходном процессе составила около 300% полной (номинальной) мощности. Потребовалось пересмотреть процедуры, связанные с перегрузкой топлива.

Объяснение оценки:

Как говорилось во вводной части Раздела IV-3.2, для исследовательских реакторов следует пользоваться методом эшелонов защиты. Поэтому на первом этапе нужно оценить максимально возможные последствия. Такая оценка показала, что для данного реактора они не могли превысить уровень 4. Барьером, предупредившим значительный выброс, явилась аварийная защита по превышению мощности. Ее характеристика не приводится, но если нельзя подтвердить наличие двух или нескольких эшелонов защиты, эффективных в данной ситуации, то следует принять, что оставался только один эшелон, предупреждающий значительный выброс. Тогда из табл.V получаем уровень 2.

Часть VI

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение I

РАСЧЕТ РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ

I.1. ВВЕДЕНИЕ

В данном приложении приводятся коэффициенты (относительной эквивалентности), на которые можно умножить активность определенного радионуклида в выбросе, чтобы получить величину, сравнимую с активностью ^{131}I . В этом анализе использованы значения коэффициентов ингаляции, которые были опубликованы недавно и включены в "Основные стандарты безопасности" (ОСБ или BSS) МАГАТЭ⁸.

I.2. МЕТОД

Сценарии и методика аналогичны тем, которые были использованы в предыдущем издании "Руководства для пользователей ИНЕС". Они вкратце представлены ниже.

- (a) При оценке воздействия за пределами площадки рассматриваются два пути облучения:
- ингаляционная доза (эффективная, для взрослого жителя) от концентрации радионуклидов в воздухе, при объеме дыхания $3,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ и коэффициенте ингаляционной дозы D_{inh} (Зв·Бк⁻¹);
 - внешняя доза гамма-излучения (эффективная, для взрослого жителя), интегральная за 50 лет, от выпавших на землю радионуклидов. Выпадение на землю выражается через концентрацию в воздухе и скорость осаждения V_g , равную $10^{-2} \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ для элементарного йода и $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ - для других веществ. Интегральная доза за 50 лет от единичного выпадения каждого радионуклида D_{gnd} (Зв на 1 Бк·м⁻²) умножается на коэффициент 0,5, чтобы учесть шероховатость почвы.

Суммарная доза D_{tot} за все время от выброса с активностью Q при приземной концентрации радионуклида в воздухе X (Бк·с·м⁻³ на 1 Бк выброса) равна:

$$D_{tot} = QX (D_{inh} \cdot \text{объем дыхания} + V_g \cdot D_{gnd} \cdot 0,5)$$

Таким образом, можно для каждого радионуклида подсчитать относительную радиологическую эквивалентность по ^{131}I как отношение соответствующих значений $D_{tot}/(QX)$.

- (b) При оценке последствий на площадке учитывается только ингаляционный путь облучения, с коэффициентами ингаляции для персонала.

I.3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

⁸ Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН, Международное агентство по атомной энергии, Международная организация труда, Агентство по ядерной энергии ОЭСР, Панамериканская организация здравоохранения, всемирная организация здравоохранения. "Международные основные стандарты безопасности по защите от ионизирующего излучения и по безопасности источников излучения". Серия изданий по безопасности № 115, МАГАТЭ, Вена, 1996 г.

Коэффициенты ингаляции во втором и третьем столбцах табл. VIII заимствованы из ОСБ (см. сноску 8), за исключением природного U, который не приведен в этом документе. Значения для природного U вычислены суммированием вкладов от ^{238}U , ^{235}U , ^{234}U и основных продуктов их распада, как указано ниже. Если радионуклиду свойственны различные типы поглощения в легких, то принято максимальное значение коэффициента ингаляции.

Интегральные дозы за 50 лет от внешнего гамма-излучения были вычислены Национальным управлением радиологической защиты (Великобритания). Данные для ^{235}U включают ^{231}Th , а для ^{238}U - ^{234}Th и $^{234\text{m}}\text{Pa}$. Значения для природного урана вычислены при следующих соотношениях: ^{234}U (48,9%), ^{235}U (2,2%) и ^{238}U (48,9%).

ТАБЛИЦА VIII. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Нуклид	Коэффициенты ингаляции		Внешнее облучение от выпадения	
	Зв/Бк (персонал) (из сноски 8)	Зв/Бк (население) (из сноски 8)	Зв·ч ⁻¹ на 1 Бк·м ⁻² (а)	Зв·50 лет ⁻¹ на 1 Бк·м ⁻² (а)
^{131}I	$1,10 \cdot 10^{-8}$	$7,40 \cdot 10^{-9}$	-	$2,48 \cdot 10^{-10}$
HTO	$1,80 \cdot 10^{-11}$	$2,60 \cdot 10^{-10}$	-	0
^{32}P	$2,90 \cdot 10^{-9}$	$3,40 \cdot 10^{-9}$	-	0
^{54}Mn	$1,20 \cdot 10^{-9}$	$1,50 \cdot 10^{-9}$	-	$1,96 \cdot 10^{-8}$
^{60}Co	$1,70 \cdot 10^{-8}$	$3,10 \cdot 10^{-8}$	-	$2,30 \cdot 10^{-7}$
^{99}Mo	$1,10 \cdot 10^{-9}$	$9,90 \cdot 10^{-10}$	-	$5,57 \cdot 10^{-11}$
^{137}Cs	$6,70 \cdot 10^{-9}$	$3,90 \cdot 10^{-8}$	-	$1,25 \cdot 10^{-7}$
^{134}Cs	$9,60 \cdot 10^{-9}$	$2,00 \cdot 10^{-8}$	-	$7,24 \cdot 10^{-8}$
^{132}Te	$3,00 \cdot 10^{-9}$	$2,00 \cdot 10^{-9}$	-	$6,49 \cdot 10^{-10}$
^{90}Sr	$7,70 \cdot 10^{-8}$	$1,60 \cdot 10^{-7}$	-	0
^{106}Ru	$3,50 \cdot 10^{-8}$	$6,60 \cdot 10^{-8}$	-	$5,27 \cdot 10^{-9}$
$^{234}\text{U(S)}^b$	$6,80 \cdot 10^{-6}$	$9,40 \cdot 10^{-6}$	$3,40 \cdot 10^{-16}$	$1,49 \cdot 10^{-10}$
$^{235}\text{U(S)}^b$	$6,10 \cdot 10^{-6}$	$8,50 \cdot 10^{-6}$	$3,65 \cdot 10^{-13}$	$1,60 \cdot 10^{-7}$
$^{235}\text{U(M)}^b$	$1,80 \cdot 10^{-6}$	$3,10 \cdot 10^{-6}$	$3,65 \cdot 10^{-13}$	$1,60 \cdot 10^{-7}$
$^{235}\text{U(F)}^b$	$6,00 \cdot 10^{-7}$	$5,20 \cdot 10^{-7}$	$3,65 \cdot 10^{-13}$	$1,60 \cdot 10^{-7}$
$^{238}\text{U(S)}^b$	$5,70 \cdot 10^{-6}$	$8,00 \cdot 10^{-6}$	$5,36 \cdot 10^{-14}$	$2,35 \cdot 10^{-8}$
$^{238}\text{U(M)}^b$	$1,60 \cdot 10^{-6}$	$2,90 \cdot 10^{-6}$	$5,36 \cdot 10^{-14}$	$2,35 \cdot 10^{-8}$
$^{238}\text{U(F)}^b$	$5,80 \cdot 10^{-7}$	$5,00 \cdot 10^{-7}$	$5,36 \cdot 10^{-14}$	$2,35 \cdot 10^{-8}$
$\text{U}_{\text{прир.}}$	$6,20 \cdot 10^{-6}$	$8,70 \cdot 10^{-6}$	$3,44 \cdot 10^{-14}$	$1,51 \cdot 10^{-8}$
^{239}Pu	$1,00 \cdot 10^{-4}$	$1,20 \cdot 10^{-4}$	$1,75 \cdot 10^{-16}$	$7,67 \cdot 10^{-11}$
^{241}Am	$2,70 \cdot 10^{-5}$	$9,60 \cdot 10^{-5}$	$3,65 \cdot 10^{-14}$	$1,60 \cdot 10^{-8}$

^a Расчет радиологической эквивалентности к "Руководству для пользователей ИНЕС", письмо С.Хьюза С.Дж.Мортину, 2000 г.

^b Типы поглощения в легких: S - медленное, M - среднее, F - быстрое. При неопределенности использовать наиболее консервативное значение.

1.4. РЕЗУЛЬТАТЫ

Коэффициенты-множители, применимые для воздействия на площадке, получаются путем деления значений для каждого радионуклида на значение для ^{131}I . Они приведены в табл. IX и в округленной форме - в табл. XI. Эти коэффициенты могут несколько отличаться от опубликованных в предыдущем пояснительном документе по ИНЕС⁹.

⁹ Международное агентство по атомной энергии. "Разъяснения по возникшим вопросам" - дополнение к "Руководству для пользователей ИНЕС". МАГАТЭ, Вена, 1996 г.

Расчет коэффициентов, применимых для воздействия за пределами площадки, представлен в табл.Х. Внешняя доза на 1 Бк·с·м⁻³ (четвертый столбец) складывается с дозой от ингаляции (седьмой столбец) и дает сумму от обоих путей облучения (восьмой столбец). В свою очередь, деление этих величин для каждого радионуклида на значение для ¹³¹I дает коэффициенты-множители, указанные в последнем столбце и округленно – в табл.ХI. Они тоже могут несколько отличаться от опубликованных в пояснительном документе⁹.

ТАБЛИЦА IX. ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПЛОЩАДКЕ, ТОЛЬКО ИНГАЛЯЦИЯ

Нуклид	Коэффициент ингаляции (Зв/Бк) (персонал)	Отношение к ¹³¹ I
¹³¹ I	1,10•10 ⁻⁸	1,0
HTO	1,80•10 ⁻¹¹	0,002
³² P	2,90•10 ⁻⁹	0,3
⁵⁴ Mn	1,20•10 ⁻⁹	0,1
⁶⁰ Co	1,70•10 ⁻⁸	1,5
⁹⁹ Mo	1,10•10 ⁻⁹	0,1
¹³⁷ Cs	6,70•10 ⁻⁹	0,6
¹³⁴ Cs	9,60•10 ⁻⁹	0,9
¹³² Te	3,00•10 ⁻⁹	0,3
⁹⁰ Sr	7,70•10 ⁻⁸	7,0
¹⁰⁶ Ru	3,50•10 ⁻⁸	3,2
²³⁵ U(S) ^a	6,10•10 ⁻⁶	554,5
²³⁵ U(M) ^a	1,80•10 ⁻⁶	163,6
²³⁵ U(F) ^a	6,00•10 ⁻⁷	54,5
²³⁸ U(S) ^a	5,70•10 ⁻⁶	518,2
²³⁸ U(M) ^a	1,60•10 ⁻⁶	145,5
²³⁸ U(F) ^a	5,80•10 ⁻⁷	52,7
U _{прир.}	6,20•10 ⁻⁶	563,6
²³⁹ Pu	1,00•10 ⁻⁴	9090,9
²⁴¹ Am	2,70•10 ⁻⁵	2454,5

^a Типы поглощения в легких: S – медленное; M - среднее; F – быстрое. При неопределенности использовать наиболее консервативное значение.

ТАБЛИЦА X. ВОЗДЕЙСТВИЕ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ПЛОЩАДКИ, ИНГАЛЯЦИЯ И ВНЕШНЕЕ ОБЛУЧЕНИЕ ОТ ВЫПАДЕНИЙ НА ЗЕМЛЮ

Нуклид	Внешняя 50-летняя доза (Зв на 1 Бк·м ⁻²)	Скорость осаждения Vg (м·с ⁻¹)	Внешняя 50-летняя доза (Зв на 1 Бк·с·м ⁻³)	Коэффици- ент ингаляции (население) (Зв на 1 Бк)	Объем дыхания (м ³ ·с ⁻¹)	Ингаляци- онная доза (Зв на 1 Бк·с·м ⁻³)	Суммар- ная доза (Зв на 1 Бк·с·м ⁻³)	Отноше- ние к ¹³¹ I
¹³¹ I	2,48·10 ⁻¹⁰	1,00·10 ⁻²	1,24·10 ⁻¹²	7,40·10 ⁻⁹	3,30·10 ⁻⁴	2,44·10 ⁻¹²	3,68·10 ⁻¹²	1,0
НТО	0	0	0	2,60·10 ⁻¹⁰	3,30·10 ⁻⁴	8,58·10 ⁻¹⁴	8,58·10 ⁻¹⁴	0,02
³² P	0	1,50·10 ⁻³	0	3,40·10 ⁻⁹	3,30·10 ⁻⁴	1,12·10 ⁻¹²	1,12·10 ⁻¹²	0,30
⁵⁴ Mn	1,96·10 ⁻⁸	1,50·10 ⁻³	1,47·10 ⁻¹¹	1,50·10 ⁻⁹	3,30·10 ⁻⁴	4,95·10 ⁻¹³	1,52·10 ⁻¹¹	4,1
⁶⁰ Co	2,30·10 ⁻⁷	1,50·10 ⁻³	1,73·10 ⁻¹⁰	3,10·10 ⁻⁸	3,30·10 ⁻⁴	1,02·10 ⁻¹¹	1,83·10 ⁻¹⁰	49,6
⁹⁹ Mo	5,57·10 ⁻¹¹	1,50·10 ⁻³	4,18·10 ⁻¹⁴	9,90·10 ⁻¹⁰	3,30·10 ⁻⁴	3,27·10 ⁻¹³	3,68·10 ⁻¹³	0,1
¹³⁷ Cs	1,25·10 ⁻⁷	1,50·10 ⁻³	9,38·10 ⁻¹¹	3,90·10 ⁻⁸	3,30·10 ⁻⁴	1,29·10 ⁻¹¹	1,07·10 ⁻¹⁰	29,0
¹³⁴ Cs	7,24·10 ⁻⁸	1,50·10 ⁻³	5,43·10 ⁻¹¹	2,00·10 ⁻⁸	3,30·10 ⁻⁴	6,60·10 ⁻¹²	6,09·10 ⁻¹¹	16,5
¹³² Te	6,49·10 ⁻¹⁰	1,50·10 ⁻³	4,87·10 ⁻¹³	2,00·10 ⁻⁹	3,30·10 ⁻⁴	6,60·10 ⁻¹³	1,15·10 ⁻¹²	0,3
⁹⁰ Sr	0	1,50·10 ⁻³	0	1,60·10 ⁻⁷	3,30·10 ⁻⁴	5,28·10 ⁻¹¹	5,28·10 ⁻¹¹	14,3
¹⁰⁶ Ru	5,27·10 ⁻⁹	1,50·10 ⁻³	3,95·10 ⁻¹²	6,60·10 ⁻⁸	3,30·10 ⁻⁴	2,18·10 ⁻¹¹	2,57·10 ⁻¹¹	7,0
²³⁵ U(S) ^a	1,60·10 ⁻⁷	1,50·10 ⁻³	1,20·10 ⁻¹⁰	8,50·10 ⁻⁶	3,30·10 ⁻⁴	2,81·10 ⁻⁹	2,92·10 ⁻⁹	794,4
²³⁵ U(M) ^a	1,60·10 ⁻⁷	1,50·10 ⁻³	1,20·10 ⁻¹⁰	3,10·10 ⁻⁶	3,30·10 ⁻⁴	1,02·10 ⁻⁹	1,14·10 ⁻⁹	310,4
²³⁵ U(F) ^a	1,60·10 ⁻⁷	1,50·10 ⁻³	1,20·10 ⁻¹⁰	5,20·10 ⁻⁷	3,30·10 ⁻⁴	1,72·10 ⁻¹⁰	2,92·10 ⁻¹⁰	79,2
²³⁸ U(S) ^a	2,35·10 ⁻⁸	1,50·10 ⁻³	1,76·10 ⁻¹¹	8,00·10 ⁻⁶	3,30·10 ⁻⁴	2,64·10 ⁻⁹	2,66·10 ⁻⁹	721,8
²³⁸ U(M) ^a	2,35·10 ⁻⁸	1,50·10 ⁻³	1,76·10 ⁻¹¹	2,90·10 ⁻⁶	3,30·10 ⁻⁴	9,57·10 ⁻¹⁰	9,75·10 ⁻¹⁰	264,7
²³⁸ U(F) ^a	2,35·10 ⁻⁸	1,50·10 ⁻³	1,76·10 ⁻¹¹	5,00·10 ⁻⁷	3,30·10 ⁻⁴	1,65·10 ⁻¹⁰	1,83·10 ⁻¹⁰	49,6
U _{прир.}	1,51·10 ⁻⁸	1,50·10 ⁻³	1,13·10 ⁻¹¹	8,70·10 ⁻⁶	3,30·10 ⁻⁴	2,87·10 ⁻⁹	2,88·10 ⁻⁹	782,8
²³⁹ Pu	7,67·10 ⁻¹¹	1,50·10 ⁻³	5,75·10 ⁻¹⁴	1,20·10 ⁻⁴	3,30·10 ⁻⁴	3,96·10 ⁻⁸	3,96·10 ⁻⁸	10755,0
²⁴¹ Am	1,60·10 ⁻⁸	1,50·10 ⁻³	1,20·10 ⁻¹¹	9,60·10 ⁻⁵	3,30·10 ⁻⁴	3,17·10 ⁻⁸	3,17·10 ⁻⁸	8607,3

^a Типы поглощения в легких: S - медленное, M - среднее, F - быстрое. При неопределенности использовать наиболее консервативное значение.

ТАБЛИЦА XI. РАДИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ

Нуклид	Коэффициенты-множители	
	Воздействие за пределами площадки	Воздействие на площадке
¹³¹ I	1(1)	1(1)
HTO	0,02(-)	0,002(-)
³² P	0,3(-)	0,3(-)
⁵⁴ Mn	4(-)	0,1(-)
⁶⁰ Co	50(-)	1,5(-)
⁹⁹ Mo	0,1(-)	0,1(-)
¹³⁷ Cs	30(90)	0,6(1)
¹³⁴ Cs	20(-)	0,9(2)
¹³² Te	0,3(-)	0,3(4)
⁹⁰ Sr	10(30)	7(10)
¹⁰⁶ Ru	7(10)	3(1)
²³⁵ U(S) ^a	800(-)	600(-)
²³⁵ U(M) ^a	300(-)	200(-)
²³⁵ U(F) ^a	100(-)	50(-)
²³⁸ U(S) ^a	700(2500)	500(1000)
²³⁸ U(M) ^a	300(-)	100(-)
²³⁸ U(F) ^a	50(80)	50(35)
U _{прир.}	800	600
²³⁹ Pu	10000(9000)	9000(10000)
²⁴¹ Am	9000(9000)	2000(10000)

^a Типы поглощения в легких: S - медленное, M - среднее, F - быстрое. При неопределенности использовать наиболее консервативное значение.

Примечание: В скобках указаны значения, приведенные в ОСБ (сноска 8).

Приложение II

КРАТКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНКИ СОБЫТИЙ ПРИ РАБОТЕ РЕАКТОРОВ НА МОЩНОСТИ ПО СОСТОЯНИЮ ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННОЙ ЗАЩИТЫ

II.1. ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Глубокоэшелонированная защита может оцениваться разными способами. Можно рассматривать число барьеров, предусмотренных для предупреждения выброса (например: топливная матрица, оболочка твэлов, корпус реактора, защитная оболочка). Либо можно рассматривать число систем, после отказа которых (одновременного или последовательного) могла бы наступить авария (например, потеря внешнего электроснабжения плюс отказ всех дизель-генераторов системы надежного питания). В процедуре классификации по ИНЕС принят второй подход.

Процедура базовой классификации основывается на том, каков объем отказов (степень неготовности или неэффективности) систем безопасности, и потребовались ли реально эти системы. Однако понятно, что последствия отказов всех систем безопасности могут существенно различаться. Потенциальные последствия трактуются в ИНЕС довольно просто. Для событий, максимально возможные последствия которых достигали бы уровня 5 или выше, максимальной оценкой по состоянию глубокоэшелонированной защиты может быть уровень 3. Если максимально возможные последствия события не могут быть выше уровня 4, то по глубокоэшелонированной защите максимальным будет уровень 2. Аналогично, если максимально возможные последствия не могут превышать уровень 2, то максимальной оценкой по глубокоэшелонированной защите будет уровень 1.

Рассмотрим теперь более подробно подход к классификации. В настоящем "Руководстве" описаны два отдельных, но сходных метода. Очевидно, первый из них, который вкратце представлен здесь, больше подходит для событий, связанных с реакторами на мощности. Вторым методом скорее подходит для событий, затрагивающих остановленные реакторы, химические установки, пути перемещения топлива, меры защиты персонала и т.д. В общем, применяемый метод зависит от того, каким образом оценивается безопасность данного объекта.

II.2. ПРОЦЕДУРА ДЛЯ СОБЫТИЙ, СВЯЗАННЫХ С РЕАКТОРАМИ НА МОЩНОСТИ

Рассмотрим станцию (или энергоблок), где защита от потери внешнего электроснабжения (ПВЭ) обеспечивается четырьмя дизель-генераторами надежного питания. Чтобы наступила авария, должно произойти событие, затрагивающее безопасность станции (например, ПВЭ) и должна отказать защита (например, все дизели не запустились). Первоначальная угроза безопасности станции (в примере – ПВЭ) называется "исходным событием", а срабатывание дизель-генераторов определяется как "работоспособность функции безопасности" (в данном примере – охлаждение после останова реактора). Следовательно, чтобы произошла авария, требуется инициирующее событие и недостаточная работоспособность функций безопасности.

Оценка состояния глубокоэшелонированной защиты определяет, насколько близка была такая авария, т.е.: произошло ли исходное событие, насколько оно было вероятно и какова работоспособность функций безопасности. Если потеряно внешнее электроснабжение, но все дизели защищены должным образом, то авария была маловероятна (такое событие, скорее всего, классифицировалось бы уровнем 0). Аналогично, если один дизель отказал при испытании, но другие находились в готовности

и имелись внешние источники электроснабжения, то авария была маловероятна (и такое событие тоже оценивалось бы уровнем 0).

Но если была обнаружена неготовность всех дизелей в течение месяца, то даже, несмотря на то, что имелось внешнее электроснабжение и действие дизелей не потребовалось, авария была относительно вероятна, поскольку сравнительно велика вероятность ПВЭ. Такое событие могло быть классифицировано уровнем 3 при условии, что не было других средств (эшелонов) защиты.

Таким образом, процедура оценки учитывает, потребовалось ли действие функций безопасности (т.е. произошло ли исходное событие), предполагаемую вероятность исходного события и работоспособность соответствующих функций безопасности.

Приложение III

ПОСТРОЕНИЕ ТАБЛИЦ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОБЫТИЙ ПРИ РАБОТЕ РЕАКТОРОВ НА МОЩНОСТИ (Раздел IV-3.2.1)

III.1. ПРОИСШЕСТВИЯ С УХУДШЕНИЕМ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ БЕЗ ИСХОДНОГО СОБЫТИЯ (Раздел IV-3.2.1.3(b))

Классификация происшествия будет зависеть, в первую очередь, от степени ухудшения функции безопасности и от вероятности исходного события, для которого они предусмотрены. Строго говоря, вторая характеристика - это вероятность наступления исходного события в период ухудшения функции безопасности, поскольку период неработоспособности будет изменяться от одного происшествия к другому. Соответственно, если период неработоспособности очень короткий, уровень по шкале может быть ниже, чем указано в таблице.

Если работоспособность требуемой функции безопасности недостаточна (независимо от того, немного или слишком недостаточна), то авария могла быть неизбежной, если бы произошло исходное событие. Такое происшествие, если функция безопасности требуется для ожидаемых исходных событий (т.е. тех, которые ожидаются один или несколько раз за весь срок эксплуатации установки), следует классифицировать уровнем 3. Если же недостаточная функция безопасности требуется только для возможных или маловероятных исходных событий, то очевидно, правильнее будет меньший уровень оценки, так как вероятность такого происшествия гораздо ниже. Поэтому в таблице указан уровень 2 для возможных исходных событий и уровень 1 для маловероятных исходных событий.

Естественно, при достаточной функции безопасности следует выбрать меньший уровень, чем при недостаточной. Если эта функция требуется для ожидаемых исходных событий, а работоспособность только достаточная, то происшествие соответствует уровню 2. Однако в ряде случаев работоспособность функции безопасности может быть значительно выше, чем просто достаточная, но не настолько, чтобы укладываться в ЭПУ. Дело в том, что минимальная работоспособность, требуемая ЭПУ, часто включает в себя определенное резервирование и/или разнородность по отношению к некоторым ожидаемым исходным событиям. В таких ситуациях более правильным может быть уровень 1. Поэтому в таблице даны на выбор уровни 1 или 2. Соответствующее значение следует выбрать в зависимости от сохранившихся элементов резервирования и/или разнородности.

Если функция безопасности требуется для возможных или маловероятных исходных событий, то понижение на одну ступень полученного выше уровня при недостаточно работоспособной системе дает уровень 1 для возможных исходных событий и уровень 0 для менее вероятных исходных событий. Однако, едва ли правильно было бы классифицировать уровнем 0 снижение работоспособности систем безопасности ниже, чем требуют ЭПУ, поскольку в этом случае отсутствует важная часть глубокоэшелонированной защиты - резервная система безопасности. Поэтому в таблице указан уровень 1 как для возможных, так и для маловероятных исходных событий.

Если работоспособность функции безопасности удовлетворяет ЭПУ, то станция (реакторная установка) осталась в условиях безопасной эксплуатации, и уровень 0 подойдет для исходных событий любой категории вероятности, как и показано в таблице.

III.2. ПРОИСШЕСТВИЯ С РЕАЛЬНЫМ ИСХОДНЫМ СОБЫТИЕМ (Раздел IV-3.2.1.3(a))

Здесь классификация будет зависеть, в первую очередь, от работоспособности функций безопасности, но для последовательности используется такая же структура таблицы, как и для происшествий без реальных исходных событий.

Очевидно, если функция безопасности недостаточная, то произойдет авария, и это может быть классифицировано по воздействию за пределами площадки или на площадке. Однако с точки зрения состояния глубокоэшелонированной защиты уровень 3 является высшим. Такая полная потеря глубокоэшелонированной защиты выражается величиной 3+ в таблице.

Если функция безопасности только достаточна, то и в этом случае подходит уровень 3, поскольку дальнейший отказ привел бы к аварии. Однако, как уже говорилось в предыдущем разделе, если работоспособность немного ниже, чем требуют ЭПУ, она все же может быть значительно выше, чем просто достаточная, особенно при ожидаемых исходных событиях. Поэтому в таблице показан уровень 2/3 при ожидаемых исходных событиях и достаточной функции безопасности, а выбор зависит от того, насколько работоспособность больше достаточной. Для маловероятных исходных событий работоспособность, требуемая ЭПУ, по-видимому, должна быть только достаточной, так что, в общем, уровень 3 мог бы соответствовать достаточной работоспособности. Однако возможны определенные исходные события, для которых имеется резервирование, и поэтому в таблице указан уровень 2/3 для исходных событий любой частоты.

Если функции безопасности полностью работоспособны, и происходит ожидаемое исходное событие, то это явно происшествие уровня 0, как показано в таблице. Однако возникновение возможных или маловероятных исходных событий, даже при наличии значительного резервирования в системах безопасности, отражает отказ одной из важных частей глубокоэшелонированной защиты, а именно – предупреждения исходных событий. По этой причине в таблице указан уровень 1 для возможных исходных событий и уровень 2 - для маловероятных исходных событий.

Если работоспособность функций безопасности равна минимально требуемой ЭПУ, то в некоторых случаях, как уже отмечалось, при возможных, а особенно при маловероятных исходных событиях, резервирование уже будет исчерпано. Тогда подходит уровень 2/3, в зависимости от оставшегося резервирования. При ожидаемых исходных событиях сохранится дополнительное резервирование, и поэтому предлагается меньший классификационный уровень. В таблице указан уровень 1/2 там, где снова значение следует выбирать в зависимости от дополнительного резервирования систем безопасности. Если готовность функции безопасности больше, чем минимально требуемая ЭПУ, но меньше, чем полная, то по отношению к ожидаемым исходным событиям могут сохраняться значительные резервирование и разнородность. В таких случаях более правильным может быть уровень 0.

Приложение IV

ПРИМЕРЫ ИСХОДНЫХ СОБЫТИЙ

IV.1. РЕАКТОРЫ С ВОДОЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ (PWR и ВВЭР)

IV.1.1. Ожидаемые

- Быстрый останов реактора
- Непреднамеренное снижение концентрации в системе борного регулирования
- Потеря расхода питательной воды
- Снижение давления в первом контуре в результате непреднамеренного действия (срабатывания) активных компонентов оборудования (например, предохранительный или сбросной клапан)
- Непреднамеренное снижение давления в первом контуре в результате действия основной или вспомогательной системы впрыска компенсатора давления
- Течь в системе второго контура, не препятствующая контролируемому останову и расхолаживанию реактора
- Течь трубки парогенератора, превышающая допустимую технологическим регламентом эксплуатации, но меньшая, чем эквивалентная полному разрыву трубки
- Течь в системе первого контура, не препятствующая контролируемому останову и расхолаживанию реактора
- Потеря внешних источников переменного тока, включая возмущения величин напряжения и частоты
- Работа с ТВС в неправильно сориентированном или смещенном положении
- Непреднамеренное извлечение одного регулирующего стержня во время перегрузки топлива
- Незначительное происшествие при обращении с топливом
- Полная потеря или перерыв принудительной циркуляции теплоносителя первого контура, исключая случаи заклинивания ротора главного циркуляционного насоса

IV.1.2. Возможные

- Малая течь теплоносителя первого контура
- Полный разрыв одной из трубок парогенератора
- Падение одной отработавшей ТВС, не затрагивающее другие ТВС
- Утечка из бассейна выдержки отработавшего топлива, превышающая нормально компенсируемую
- Истечение теплоносителя первого контура через систему предохранительных или сбросных клапанов

IV.1.3. Маловероятные

- Большая течь теплоносителя первого контура, вплоть до возможного разрыва трубопровода наибольшего диаметра
- Выброс одного регулирующего стержня
- Разрыв трубопровода второго контура большого диаметра, вплоть до наибольшего диаметра
- Падение отработавшей ТВС на другие отработавшие ТВС

IV.2. РЕАКТОРЫ С КИПЯЩЕЙ ВОДОЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ (BWR)

IV.2.1. Ожидаемые

- Быстрый останов реактора
- Непреднамеренное извлечение регулирующего стержня во время работы реактора на мощности
- Потеря расхода питательной воды
- Отказ регулирования давления в реакторе
- Течь в системе "острого" пара
- Течь в системе охлаждения реактора, не препятствующая контролируемому останову и расхолаживанию реактора
- Потеря внешних источников переменного тока, включая возмущения величин напряжения и частоты
- Работа с ТВС в неправильно сориентированном или смещенном положении
- Непреднамеренное извлечение одного регулирующего стержня во время перегрузки топлива
- Незначительное происшествие при обращении с топливом
- Потеря расхода принудительной циркуляции теплоносителя реактора

IV.2.2. Возможные

- Малая течь теплоносителя
- Разрыв трубопровода "острого" пара
- Падение одной отработавшей ТВС, не затрагивающее другие ТВС
- Утечка из бассейна выдержки отработавшего топлива, превышающая нормально компенсируемую
- Истечение теплоносителя реактора через систему предохранительных или сбросных клапанов

IV.2.3. Маловероятные

- Большая течь теплоносителя первого контура, вплоть до возможного разрыва трубопровода наибольшего диаметра в границах контура высокого давления теплоносителя реактора
- Падение одного регулирующего стержня
- Большой разрыв трубопровода "острого" пара
- Падение отработавшей ТВС на другие отработавшие ТВС

IV.3. РЕАКТОРЫ С ТЯЖЕЛОЙ ВОДОЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ (CANDU)

IV.3.1. Ожидаемые

- Быстрый останов реактора
- Непреднамеренное снижение концентрации в системе борного регулирования
- Потеря расхода питательной воды
- Потеря управления давлением (высоким или низким) в системе первого контура вследствие отказа или ошибочного срабатывания активного элемента (например, клапана подпитки, сброса или предохранительного)

- Течь трубки парогенератора, превышающая допустимую технологическим регламентом эксплуатации, но меньшая, чем эквивалентная полному разрыву трубки
- Течь в системе первого контура, не препятствующая контролируемому останову и расхолаживанию реактора
- Течь в системе второго контура, не препятствующая контролируемому останову и расхолаживанию реактора
- Потеря внешних источников переменного тока, включая возмущения величин напряжения и частоты
- Работа с ТВС в любом неправильном положении
- Незначительное происшествие при обращении с топливом
- Отключение циркуляционного насоса (насосов) первого контура
- Потеря расхода основной питательной воды в одном или большем числе парогенераторов
- Засорение отдельного канала (меньше 70%)
- Потеря охлаждения замедлителя
- Потеря компьютерного управления
- Незапланированное локальное увеличение реактивности

IV.3.2. Возможные

- Малая течь теплоносителя первого контура (в том числе разрыв трубопровода под давлением)
- Полный разрыв одной трубки парогенератора
- Истечение теплоносителя реактора через систему предохранительных или сбросных клапанов
- Повреждение облученного топлива или потеря охлаждения перегрузочной машины с облученным топливом
- Утечка из бассейна облученного топлива, превышающая нормально компенсируемую
- Разрыв трубопровода питательной воды
- Засорение отдельного канала (больше 70%)
- Потеря (отказ в контуре) замедлителя
- Потеря охлаждения торцевой защиты
- Нарушение охлаждения остановленного реактора
- Незапланированное общее увеличение реактивности
- Потеря подачи технической воды (высокого или низкого давления, охлаждающей)
- Отказ пневматической системы
- Отказ внутренних источников электропитания (класса IV, III, II или I)

IV.3.3. Маловероятные

- Большая течь теплоносителя реактора, вплоть до возможного разрыва трубопровода наибольшего диаметра в контуре высокого давления теплоносителя
- Разрыв трубопровода большого диаметра во втором контуре, вплоть до наибольшего диаметра

IV.4. РЕАКТОРЫ РБМК (LWGR)

IV.4.1. Ожидаемые

- Быстрый останов реактора

- Нарушение в системе нейтронного регулирования мощности реактора
- Потеря расхода основной питательной воды
- Снижение давления в системе охлаждения реактора (КМПЦ) в результате непреднамеренного действия (срабатывания) активных элементов оборудования (например, предохранительный или сбросной клапан)
- Течь в КМПЦ, не препятствующая нормальному останову и расхолаживанию реактора
- Снижение расхода теплоносителя через группу технологических каналов и каналов СУЗ
- Снижение расхода гелиевой смеси в графитовой кладке реактора
- Потеря внешних источников переменного тока, включая возмущения величин напряжения и частоты
- Работа с ТВС в неправильно сориентированном или смещенном положении
- Незначительное происшествие при обращении с топливом
- Разгерметизация технологического канала при перегрузке топлива

IV.4.2. Возможные

- Малая течь теплоносителя КМПЦ
- Падение отработавшей ТВС
- Утечка из бассейна выдержки отработавшего топлива, превышающая нормально компенсируемую
- Истечение теплоносителя из КМПЦ через систему предохранительных или сбросных клапанов
- Разрыв технологического канала или канала СУЗ
- Потеря расхода воды в любом технологическом канале
- Потеря расхода воды в контуре охлаждения СУЗ
- Полная потеря расхода гелиевой смеси в графитовой кладке реактора
- Аварийная ситуация в процессе перегрузки топлива при работе реактора на мощности
- Полная потеря электропитания собственных нужд
- Несанкционированное поступление холодной воды из САОР (системы аварийного охлаждения реактора) в реактор

IV.4.3. Маловероятные

- Большая течь теплоносителя, вплоть до возможного разрыва трубопровода КМПЦ наибольшего диаметра
- Разрыв трубопровода "острого" пара до главной паровой задвижки, включая трубопровод наибольшего диаметра
- Падение отработавшей ТВС на другие отработавшие ТВС
- Полная потеря расхода технической воды
- Выброс ТВС из технологического канала, в т.ч. из технологического канала в разгрузочно-загрузочную машину

IV.5. ГАЗООХЛАЖДАЕМЫЕ РЕАКТОРЫ

IV.5.1. Ожидаемые

- Быстрый останов реактора
- Потеря расхода питательной воды
- Очень малое снижение давления

- Течь трубки парогенератора
- Потеря внешних источников переменного тока, включая возмущения величин напряжения и частоты
- Непреднамеренное извлечение одного или нескольких регулирующих стержней
- Незначительное происшествие при обращении с топливом
- Некоторая потеря расхода или перерыв принудительной циркуляции теплоносителя реактора

IV.5.2. Возможные

- Незначительное снижение давления
- Непреднамеренное извлечение группы регулирующих стержней
- Полный разрыв трубки парогенератора
- Падение ТВС (только для реакторов AGR)
- Закрытие лопастей входного направляющего аппарата газодувки (только для реакторов AGR)
- Отказы закрытия газа (только для реакторов AGR)

IV.5.3. Маловероятные

- Большое снижение давления (разгерметизация)
- Повреждение паропровода
- Повреждение питательного трубопровода

Приложение V

ОЦЕНКА СОБЫТИЙ, СВЯЗАННЫХ С НАРУШЕНИЕМ ЭПУ

Эксплуатационные пределы и условия (ЭПУ) описывают минимальную работоспособность систем безопасности, при которой эксплуатация установки остается безопасной согласно проекту. Они могут также предусматривать работу с пониженной готовностью систем безопасности в течение ограниченного времени. В некоторых странах "технологические регламенты" содержат ЭПУ и, кроме того, в случае отклонения от ЭПУ описывают действия, которые должны быть предприняты, включая допустимое время для восстановления ситуации и соответствующее допустимое состояние.

Если готовность системы укладывается в ЭПУ, но установка остается в таком состоянии готовности дольше допустимого времени (установленного в "технологическом регламенте"), то событие следует классифицировать уровнем 1 ввиду недостатков в культуре безопасности.

Если обнаружено, что работоспособность системы ниже допустимой согласно ЭПУ, даже в течение ограниченного времени, но персонал привел установку в безопасное состояние в соответствии с "технологическим регламентом", то событие следует оценивать так, как описано в Разделе III-3.2, но не повышать уровень из-за нарушения "технологического регламента". Нужно также учитывать время, в течение которого готовность функции безопасности была меньше, чем требуют ЭПУ.

Кроме того, некоторые страны предусматривают в своих "технологических регламентах" те или иные дополнительные требования, например пределы, связанные с долгосрочной безопасностью оборудования. Для событий, при которых такие пределы превышаются на короткое время, может быть более правильной оценка уровнем 0.

Для остановленных реакторов в "технологических регламентах" тоже устанавливаются минимальные требования к готовности, но обычно не указываются сроки восстановления и допустимые восстановленные состояния, поскольку невозможно определить более безопасное состояние. Требуется настолько это возможно быстрее восстановить исходное состояние установки. Как правило, для оценки отказов оборудования, которые снижают готовность во время останова, следует пользоваться методом эшелонной защиты, а снижение готовности ниже требуемой "технологическим регламентом" не считать нарушением ЭПУ.

Настоящее "Руководство" подготовлено на основе опыта, накопленного при использовании издания 1992 г., и документа под названием "Разъяснения по возникшим вопросам". Эта работа была проведена при содействии Консультативного комитета по ИНЕС под председательством С.Дж.Мортинга (BNFL, Великобритания).

Приложение VI**СПИСОК УЧАСТВУЮЩИХ СТРАН И ОРГАНИЗАЦИЙ**

Австралия	Ливан
Австрия	Литва
Аргентина	Люксембург
Армения	Мексика
Бангладеш	Нидерланды
Беларусь	Норвегия
Бельгия	Пакистан
Болгария	Перу
Бразилия	Польша
Великобритания	Португалия
Венгрия	Российская Федерация
Вьетнам	Румыния
Гватемала	Саудовская Аравия
Германия	Сирия
Греция	Словакия
Дания	Словения
Египет	США
Индия	Турция
Иран	Украина
Ирландия	Финляндия
Исландия	Франция
Испания	Хорватия
Италия	Чехия
Казахстан	Чили
Канада	Швейцария
Китай	Швеция
Конго, Демократическая Республика	Шри-Ланка
Корея, Республика	ЮАР
Коста-Рика	Югославия
Кувейт	Япония

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СВЯЗИ

Европейская Комиссия
Институт ядерной энергии
Всемирная ассоциация организаций, эксплуатирующих АЭС