

ИНЕС

МЕЖДУНАРОДНАЯ ШКАЛА ЯДЕРНЫХ И РАДИОЛОГИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

Руководство для пользователей ИЗДАНИЕ 2008 ГОДА



Подготовлено
совместно МАГАТЭ
и ОЭСР/АЯЭ



IAEA

Международное агентство по атомной энергии

ИНЕС
РУКОВОДСТВО ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ
МЕЖДУНАРОДНОЙ ШКАЛЫ ЯДЕРНЫХ
И РАДИОЛОГИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

Издание 2008 года

ИНЕС
РУКОВОДСТВО ДЛЯ
ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ
МЕЖДУНАРОДНОЙ ШКАЛЫ
ЯДЕРНЫХ И РАДИОЛОГИЧЕСКИХ
СОБЫТИЙ

ИЗДАНИЕ 2008 ГОДА

ПОДГОТОВЛЕНО СОВМЕСТНО МЕЖДУНАРОДНЫМ АГЕНТСТВОМ ПО
АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ И ОЭСР/АГЕНТСТВОМ ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ

МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ
ВЕНА, 2010 ГОД

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКОМ ПРАВЕ

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

Группа маркетинга и сбыта
Издательская секция
Международное агентство по атомной энергии
Vienna International Centre
PO Box 100
1400 Vienna, Austria
факс: +43 1 2600 29302
тел.: +43 1 2600 22417
эл. почта: sales.publications@iaea.org
веб-сайт: <http://www.iaea.org/books>

© МАГАТЭ, 2010

Напечатано МАГАТЭ в Австрии
Сентябрь 2010

ПРЕДИСЛОВИЕ

Необходимость упрощения процесса информирования о значимости событий, имеющих отношение к эксплуатации ядерных установок или проведению работ, связанных с радиационными рисками, возникла в 1980-х годах после аварий на ядерных установках, ставших объектом пристального внимания международных средств массовой информации. В связи с этим и на основе опыта, ранее накопленного некоторыми странами, были разработаны предложения по созданию международной шкалы оценки событий, аналогичной шкалам, уже применяемым в других областях (например, для оценки мощности землетрясений), использование которой позволяло бы передавать сообщения о радиационных рисках, связанных с конкретным событием, согласовано и вне зависимости от страны, в которой оно произошло.

В 1990 году международной группой экспертов, учрежденной МАГАТЭ и Агентством по ядерной энергии ОЭСР (ОЭСР/АЯЭ), была разработана Международная шкала ядерных и радиологических событий (ИНЕС), призванная служить в качестве инструмента информирования о значимости с точки зрения безопасности событий, возникающих на ядерных объектах. Впоследствии ИНЕС была дополнена в связи с возросшей необходимостью передачи сообщений о значимости событий любого рода, приводящих к возникновению радиационных рисков. В 1992 году ИНЕС была доработана с учетом пожеланий общественности и далее дополнена с тем, чтобы ее можно было применять для оценки любых событий, связанных с радиоактивными материалами и/или радиацией, в том числе с транспортировкой (перевозкой) радиоактивных материалов. В 2001 году было выпущено обновленное издание Руководства для пользователей ИНЕС с целью разъяснения вопросов использования ИНЕС и уточнения порядка оценки событий, связанных с транспортировкой и топливным циклом. Однако оказалось, что необходимы дополнительные руководящие материалы, и работа была продолжена, в частности, по связанным с транспортировкой событиям. Во Франции и в Испании была проведена дальнейшая работа по вопросам, касающимся потенциальных и фактических последствий событий, связанных с источниками излучения и транспортировкой. По просьбе государств-членов, участвующих в ИНЕС, МАГАТЭ и Секретариат ОЭСР/АЯЭ координировали подготовку всеобъемлющего руководства, содержащего дополнительные руководящие материалы по оценке любых событий, связанных с источниками излучения и транспортировкой радиоактивных материалов.

В настоящем новом издании Руководства для пользователей ИНЕС объединены дополнительные руководящие материалы и разъяснения и даны примеры и комментарии по применению ИНЕС. Данная публикация заменяет

ранее выпущенные издания. В ней представлены критерии оценки любых событий, связанных с излучением и радиоактивным материалом, включая связанные с транспортировкой события. Настоящее Руководство предназначено для облегчения задачи тех, кто в целях информирования общественности должен с помощью ИНЕС оценивать значимость событий с точки зрения безопасности.

В настоящее время в сеть связи ИНЕС поступает информация о событиях и о соответствующей классификационной оценке по шкале ИНЕС, которая распространяется среди национальных представителей по ИНЕС в более чем 60 государствах-членах. Каждая страна, принимающая участие в ИНЕС, учредила собственную сеть, обеспечивающую оперативное проведение оценки событий и передачу соответствующей информации внутри страны или за ее пределами. МАГАТЭ предоставляет по запросам услуги по обучению пользователей ИНЕС, содействуя присоединению государств-членов к функционирующей системе.

Настоящее Руководство – это плод усилий Консультативного комитета ИНЕС, а также национальных представителей государств – членов ИНЕС. Вклад всех, кто участвовал в подготовке и рецензировании Руководства заслуживает самой высокой оценки. МАГАТЭ и ОЭСР/АЯЭ выражают особую благодарность членам Консультативного комитета ИНЕС за проделанную ими большую работу по рецензированию данной публикации. МАГАТЭ выражает признательность г-ну С. Мортину за помощь, оказанную при подготовке данной публикации, и г-ну Ж. Жовену, выступавшему в роли партнера со стороны ОЭСР/АЯЭ, за проявленное сотрудничество. МАГАТЭ также выражает благодарность правительствам Испании и Соединенных Штатов Америки за предоставление внебюджетных средств.

Сотрудником МАГАТЭ, ответственным за настоящую публикацию, была г-жа Шпигельберг-Планер из Департамента ядерной безопасности.

СОДЕРЖАНИЕ

1.	КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ИНЕС	1
1.1.	Общие сведения	1
1.2.	Общее описание шкалы	1
1.3.	Сфера применения шкалы	3
1.4.	Принципы выбора критериев в ИНЕС	5
1.4.1.	Люди и окружающая среда	6
1.4.2.	Радиологические барьеры и контроль	6
1.4.3.	Глубокоэшелонированная защита	7
1.4.4.	Конечная оценка	9
1.5.	Использование шкалы	9
1.6.	Представление информации о событиях	11
1.6.1.	Общие принципы	11
1.6.2.	Международные сообщения	12
1.7.	Структура руководства	14
2.	ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЛЮДЕЙ И ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ	16
2.1.	Общее описание	16
2.2.	Активность выброса	17
2.2.1.	Методы оценки выбросов	17
2.2.2.	Определение уровней на основе выброса активности	19
2.3.	Дозы, получаемые отдельными лицами	21
2.3.1.	Критерии оценки минимального уровня при облучении одного человека	21
2.3.2.	Критерии, применяемые в случае облучения нескольких человек	23
2.3.3.	Методология оценки доз	24
2.3.4.	Краткое изложение	24
2.4.	Рабочие примеры	25
3.	ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ И КОНТРОЛЬ НА УСТАНОВКАХ	34
3.1.	Общее описание	34
3.2.	Определение уровней	35

3.3.	Расчет радиологической эквивалентности	39
3.4.	Рабочие примеры	39
4.	ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГЛУБОКО- ЭШЕЛОНИРОВАННУЮ ЗАЩИТУ В СЛУЧАЕ СОБЫТИЙ, СВЯЗАННЫХ С ТРАНСПОРТИРОВКОЙ И ИСТОЧНИКАМИ ИЗЛУЧЕНИЯ	47
4.1.	Общие принципы классификационной оценки событий . . .	48
4.2.	Подробные указания по классификационной оценке событий	49
4.2.1.	Определение максимально возможных последствий	49
4.2.2.	Классификационная оценка с учетом эффективности средств обеспечения безопасности	52
4.3.	Рабочие примеры	62
5.	ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГЛУБОКОЭШЕЛО- НИРОВАННУЮ ЗАЩИТУ В СЛУЧАЕ СОБЫТИЙ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕАКТОРАХ ПРИ РАБОТЕ НА МОЩНОСТИ.	77
5.1.	Определение базового уровня классификации с учетом эффективности средств обеспечения безопасности	79
5.1.1.	Определение частоты исходных событий.	81
5.1.2.	Работоспособность функций безопасности	82
5.1.3.	Оценка базового уровня классификации событий- происшествий с реальным исходным событием	84
5.1.4.	Оценка базового уровня классификации событий- происшествий без реального исходного события . . .	88
5.1.5.	Потенциальные события (в том числе конструкционные дефекты)	91
5.1.6.	События ниже шкалы/уровень 0	92
5.2.	Рассмотрение дополнительных факторов	93
5.2.1.	Отказы по общей причине	94
5.2.2.	Процедурные несоответствия	94
5.2.3.	Недостатки в культуре безопасности	95
5.3.	Рабочие примеры	97

6.	ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННУЮ ЗАЩИТУ В СЛУЧАЕ СОБЫТИЙ НА КОНКРЕТНЫХ УСТАНОВКАХ	119
6.1.	Общие принципы классификационной оценки событий ...	120
6.2.	Подробные указания по классификационной оценке событий	122
6.2.1.	Определение максимально возможных последствий	122
6.2.2.	Определение количества эшелонов безопасности ...	124
6.2.3.	Оценка базового уровня классификации	128
6.2.4.	Рассмотрение дополнительных факторов.	131
6.3.	Указания по применению метода эшелонов безопасности в случае событий конкретного типа.	135
6.3.1.	События с отказами в системах охлаждения во время останова реактора	135
6.3.2.	События с отказами в системах охлаждения, затрагивающими бассейн выдержки отработавшего топлива	135
6.3.3.	Контроль критичности	136
6.3.4.	Неразрешенный сброс или распространение радиоактивного загрязнения	137
6.3.5.	Дозиметрический контроль	137
6.3.6.	Блокировки входа в защищенные помещения ограниченного доступа.	138
6.3.7.	Отказы систем вытяжной вентиляции, фильтрации и очистки	138
6.3.8.	События при грузовых операциях и падение тяжелых грузов	139
6.3.9.	Потеря электроснабжения	141
6.3.10.	Пожары и взрывы	141
6.3.11.	Внешние опасности	142
6.3.12.	Отказы в системах охлаждения	142
6.4.	Рабочие примеры	143
6.4.1.	События на остановленном энергетическом реакторе.	143
6.4.2.	События на установках, не являющихся энергетическими реакторами.	152
7.	ПРОЦЕДУРА ОЦЕНКИ	167

ДОПОЛНЕНИЕ I: РАСЧЕТ РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ	177
ДОПОЛНЕНИЕ II: ПОРОГОВЫЕ УРОВНИ ЭТЕРМИНИРОВАННЫХ ЭФФЕКТОВ	182
ДОПОЛНЕНИЕ III: ЗНАЧЕНИЯ D-ВЕЛИЧИНЫ ДЛЯ РЯДА ИЗОТОПОВ	186
ДОПОЛНЕНИЕ IV: КАТЕГОРИЗАЦИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ НА ОСНОВЕ ОБЩЕПРИНЯТОЙ ПРАКТИКИ	190
СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	193
ПРИЛОЖЕНИЕ I: ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННАЯ ЗАЩИТА ..	195
ПРИЛОЖЕНИЕ II: ПРИМЕРЫ ИСХОДНЫХ СОБЫТИЙ И ЧАСТОТЫ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ	200
ПРИЛОЖЕНИЕ III: ПЕРЕЧЕНЬ УЧАСТВОВАВШИХ СТРАН И ОРГАНИЗАЦИЙ	207
ГЛОССАРИЙ	209
ПЕРЕЧЕНЬ РИСУНКОВ	221
ПЕРЕЧЕНЬ ТАБЛИЦ	223
ПЕРЕЧЕНЬ ПРИМЕРОВ	225
СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ	229

1. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ИНЕС

1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Международная шкала ядерных и радиологических событий используется для оперативного и обоснованного информирования общественности о значимости с точки зрения безопасности событий, связанных с источниками излучения. Она охватывает широкий спектр различных видов практической деятельности, включая такое промышленное использование, как радиографический контроль, применение источников излучения в больницах, деятельность на ядерных установках и транспортировка (перевозка) радиоактивного материала. Обеспечивая реальную оценку событий, происходящих во время осуществления всех этих видов практической деятельности, ИНЕС может способствовать установлению взаимопонимания между специалистами, средствами массовой информации и общественностью.

Шкала была разработана в 1990 году международной группой экспертов, учрежденной МАГАТЭ и Агентством по ядерной энергии ОЭСР (ОЭСР/АЯЭ). Первоначально она отражала опыт, накопленный при использовании аналогичных шкал во Франции и в Японии, а также при изучении возможных вариантов шкал, проведенном в ряде стран. МАГАТЭ координирует ее доработку в сотрудничестве с ОЭСР/АЯЭ и при поддержке более чем 60 назначенных национальных представителей, которые официально представляют государства – члены ИНЕС на организуемых раз в два года технических совещаниях ИНЕС.

Первоначально шкала применялась для классификации событий на АЭС, а затем она была дополнена и доработана для того, чтобы ее можно было применять ко всем установкам, связанным с гражданской атомной отраслью. Позднее она была расширена и далее дополнена в связи с возросшей необходимостью передачи сообщений о значимости любых событий, связанных с транспортировкой, хранением и использованием радиоактивных материалов и источников излучения. В настоящем пересмотренном издании руководящие материалы для всех случаев применения шкалы сведены в единый документ.

1.2. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ ШКАЛЫ

В рамках шкалы события классифицируются по семи уровням: на уровнях 4-7 они называются “авариями”, а на уровнях 1-3 – “инцидентами”. События, не существенные с точки зрения безопасности, классифицируются как “событие ниже шкалы/уровень 0”. События, не имеющие отношения к

безопасности, связанной с излучениями или обеспечением ядерной безопасности, не классифицируются по данной шкале (см. подраздел 1.3).

В целях информирования общественности о событиях каждый уровень событий по шкале ИНЕС имеет строго определенное наименование. В порядке возрастающей тяжести это: “аномалия”, “инцидент”, “серьезный инцидент”, “авария с локальными последствиями”, “авария с широкими последствиями”¹, “серьезная авария” и “крупная авария”.

При построении шкалы выбран принцип, заключающийся в том, что тяжесть события возрастает примерно на порядок величины с каждым уровнем шкалы (т.е. шкала является логарифмической). Авария на Чернобыльской АЭС, произошедшая в 1986 году, оценивается на уровне 7 по шкале ИНЕС. Эта авария характеризуется обширным воздействием на людей и окружающую среду. Одно из главных соображений при разработке критериев классификации событий по шкале ИНЕС заключалось в обеспечении четкого разграничения уровня значимости менее тяжелых и более локализованных событий от самой тяжелой аварии. Так, авария 1979 года на АЭС “Три Майл Айленд” оценивается уровнем 5 по шкале ИНЕС, а событию, приводящему к одному смертному случаю от воздействия излучения, присваивается уровень 4.

Структура шкалы представлена в таблице 1. По сфере воздействия события подразделяются на три различных класса: воздействие на людей и окружающую среду; воздействие на радиологические барьеры и контроль на установках; и воздействие на глубокоэшелонированную защиту. Подробное определение уровней шкалы дано в следующих ниже разделах настоящего Руководства.

Воздействие на людей и окружающую среду может быть локальным (в случае дозы облучения, полученной одним человеком или несколькими людьми, находящимся вблизи от места события) или обширным как в случае выброса радиоактивного материала из установки. Воздействие на радиологические барьеры и контроль на установках связано исключительно с объектами, на которых находятся большое количество радиоактивного материала, такими как энергетические реакторы, установки по переработке, мощные исследовательские реакторы или большие установки по производству источников. Эта категория охватывает такие события, как расплавление активной зоны реактора и утечка значительных количеств радиоактивного материала в результате выхода из строя радиологических барьеров, которые создают угрозу для безопасности людей и окружающей среды. События,

¹ Например, выброс из установки, могущий привести к определенному защитному действию, или несколько смертных случаев в результате оставления бесхозным мощного радиоактивного источника.

оцениваемые по указанным двум категориям (люди и окружающая среда, радиологические барьеры и контроль), называются в настоящем Руководстве событиями с “фактическими последствиями.” Ухудшение состояния глубокоэшелонированной защиты в основном связано с событиями, не имеющими фактических последствий, когда предусмотренные меры по предотвращению аварий или по борьбе с ними не сработали в соответствии с их предназначением.

Уровень 1 применяется только к случаям деградации (ухудшения состояния) глубокоэшелонированной защиты. Уровни 2 и 3 охватывают случаи более серьезного ухудшения состояния глубокоэшелонированной защиты или небольшую степень фактических последствий для людей или установок. Уровни с 4 по 7 отражают возрастающие уровни фактических последствий для людей, окружающей среды или установок.

Хотя ИНЕС охватывает широкий диапазон различных видов практической деятельности, маловероятно, что события, связанные с некоторыми видами практической деятельности могут оцениваться верхними уровнями шкалы. Например, события, связанные с транспортировкой источников, которые используются в промышленной радиографии, никогда не могут превысить уровень 4, даже в случае изъятия источника из его надлежащего местонахождения и неправильного обращения с ним.

1.3. СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ ШКАЛЫ

Шкала может применяться к любому событию, связанному с транспортировкой (перевозкой), хранением и использованием радиоактивного материала и источников излучения. Она применяется независимо от того, происходит данное событие на установке или за ее пределами. Она охватывает утрату или хищение радиоактивных источников или упаковок и обнаружение бесхозных источников, таких как источники, по недосмотру ставшие предметом торговли металлоломом. Шкала может также применяться к событиям, включающим unplanned облучение отдельных лиц при осуществлении других видов практической деятельности (например, при обработке минералов).

Шкала предназначена для использования исключительно в гражданских (невоенных) целях применительно только к аспектам безопасности событий. Шкала не предназначена для классификационной оценки событий, связанных с физической безопасностью, или злоумышленных действий, целью которых является преднамеренное облучение людей.

ТАБЛИЦА 1. ОБЩИЕ КРИТЕРИИ КЛАССИФИКАЦИИ СОБЫТИЙ ПО ШКАЛЕ ИНЕС

Описание события и уровень ИНЕС	Люди и окружающая среда	Радиологические барьеры и контроль	Глубокощелепонирующая защита
Крупная авария Уровень 7	<ul style="list-style-type: none"> - Крупный выброс радиоактивного материала с обширными последствиями для здоровья и окружающей среды, требующий осуществления запланированных и длительных контрмер. 	<ul style="list-style-type: none"> - Тяжелое повреждение активной зоны реактора. - Выброс больших количеств радиоактивного материала в пределах установки с высокой вероятностью вызван крупной аварией с возникновением критичности или пожара. 	
Серьезная авария Уровень 6	<ul style="list-style-type: none"> - Значительный выброс радиоактивного материала, который, вероятно, потребует осуществления запланированных контрмер. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ограниченный выброс радиоактивного материала, который, вероятно, потребует осуществления некоторых запланированных контрмер. - Несколько смертельных случаев от облучения. 	
Авария с локальными последствиями Уровень 5	<ul style="list-style-type: none"> - Ограниченный выброс радиоактивного материала, который, вероятно, потребует осуществления некоторых запланированных контрмер. 	<ul style="list-style-type: none"> - Расплавление топлива или повреждение топлива, в результате которого произошел выброс более чем 0,1% общего количества топлива активной зоны. - Выброс значительных количеств радиоактивного материала в пределах установки с высокой вероятностью значительного облучения населения. 	
Авария с локальными последствиями Уровень 4	<ul style="list-style-type: none"> - Небольшой выброс радиоактивного материала, при котором мала вероятность того, что потребуются осуществление запланированных контрмер помимо мер по контролю за пищевыми продуктами на местном уровне. - По меньшей мере один смертельный случай от облучения. 	<ul style="list-style-type: none"> - Мощность доз облучения в рабочей зоне превышает 1 Зв/ч. - Сильное радиоактивное загрязнение в зоне, не предусмотренной проектом, с низкой вероятностью значительного облучения населения. 	<ul style="list-style-type: none"> - Близкий к аварии случай на АЭС, когда не сохраняются средства обеспечения безопасности. - Утерянный или похищенный высокоактивный закрытый источник. - Доставленный не по назначению высокоактивный закрытый источник при отсутствии надлежащей инструкции по обращению с ним.
Серьезный инцидент Уровень 3	<ul style="list-style-type: none"> - Облучение, в десять раз превышающее установленный годовой предел для работников. - Нежелательный детерминированный эффект для здоровья (например, ожог) от облучения. 	<ul style="list-style-type: none"> - Уровни излучения в рабочей зоне эксплуатации превышают 50 мЗв/ч. - Значительное радиоактивное загрязнение в пределах установки, распространяющееся на зону, не предусмотренную проектом. 	<ul style="list-style-type: none"> - Значительные отказы средств обеспечения безопасности, но без фактических последствий. - Обнаружен высокоактивный закрытый безхозный источник, устройство или транспортная упаковка, при этом средства обеспечения безопасности сохраняются. - Нарушение упаковочного комплекта высокоактивного закрытого источника.
Инцидент Уровень 2	<ul style="list-style-type: none"> - Облучение лица из населения, превышающее 10 мЗв. - Облучение работника, превышающее установленные годовые пределы. 		<ul style="list-style-type: none"> - Переобучение лица из населения, превышающее установленные годовые пределы. - Небольшие проблемы с элементами обеспечения безопасности – при этом сохраняется работоспособная значительная часть глубоководной защиты. - Утерянный или похищенный радиоактивный источник, устройство или транспортная упаковка низкого уровня активности.
Аномалия Уровень 1			
Не существует для безопасности (событие ниже шкалы/уровень 0)			

Если устройство используется в медицинских целях (например, в радиодиагностике и лучевой терапии), указания, содержащиеся в настоящем Руководстве, применяется для классификационной оценки событий, которые приводят к фактическому облучению персонала и населения или которые связаны с ухудшением (деградацией) характеристик работы устройства или недостатками в мерах безопасности. Шкала пока не охватывает фактические или потенциальные последствия для пациентов, облучаемых в процессе прохождения медицинских процедур. Необходимость разработки руководящих материалов, касающихся такого облучения, получаемого во время медицинских процедур, признана и будет рассмотрена позднее.

Шкала не применяется для оценки каждого события, которое может произойти на ядерной или радиационной установке. Она не охватывает события, связанные исключительно с промышленной безопасностью, или другие события, не имеющие значимости для безопасности применительно к излучениям или ядерной безопасности. Например, события, приводящие только к возникновению химической опасности, такой как газообразный выброс нерадиоактивного материала, или такое событие, как падение или поражение электрическим током, приводящее к увечью или смерти работника на ядерной установке, не подлежат классификации с использованием данной шкалы. Аналогичным образом события, воздействующие на эксплуатационную готовность турбины или генератора, если они не оказывают влияния на работу реактора на мощности, не классифицируются по шкале, также как не классифицируются и пожары, если они не влекут за собой какой-либо вероятной радиологической опасности и не затрагивают оборудования, связанного с обеспечением радиологической (радиационной) или ядерной безопасности.

1.4. ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА КРИТЕРИЕВ В ИНЕС

Все события необходимо оценивать по каждой из соответствующих категорий, описание которых дано в разделе 1.2, а именно: люди и окружающая среда; радиологические барьеры и контроль; и глубокоэшелонированная защита. Присваиваемая событию классификационная оценка – это наивысший уровень, определяемый в результате рассмотрения каждой из этих трех категорий. В следующих ниже разделах кратко изложены принципы, используемые для оценки воздействия по каждой категории.

1.4.1. Люди и окружающая среда

Самый простой подход к классификации фактических последствий для людей может быть оценка, основанная на полученных дозах. Однако в случае аварий такой подход нельзя считать подходящим, так как он не позволяет учитывать весь спектр последствий. Например, эффективное применение противоаварийных мероприятий для эвакуации населения может снизить облучение до относительно небольших доз несмотря на значительные масштабы аварии на объекте. Оценка такого события только на основе полученных доз не отражает истинной значимости произошедшего на объекте, и она не учитывает вероятного широкого распространения радиоактивного загрязнения. Поэтому для аварийных уровней ИЧЭС (4-7) были разработаны критерии, основанные на количественной оценке выброса радиоактивного материала, а не полученной дозы. Очевидно, что эти критерии применяются только к практической деятельности, в которой существует потенциальная опасность рассеяния (диспергирования) значительного количества радиоактивного вещества.

С целью охвата широкого диапазона различных радиоактивных веществ, выброс которых считается возможным, в шкале использована концепция “радиологической эквивалентности.” Количество в этом случае выражается в терабеккерелях ^{131}I , и устанавливаются коэффициенты пересчета для определения эквивалентного уровня для других изотопов, который приводит к получению такого же уровня эффективной дозы.

В случае событий с более низким уровнем воздействия на людей и окружающую среду оценка базируется на полученных дозах и числе облученных людей.

(Критерии для выбросов ранее назывались критериями воздействия “за пределами площадки”).

1.4.2. Радиологические барьеры и контроль

В случае крупных установок, на которых потенциально (хотя и с малой долей вероятности) может произойти большой выброс активности, когда границы площадки четко определяются при лицензировании установок, существует вероятность возникновения события, при котором происходят значительные отказы радиологических барьеров без значительных последствий для людей и окружающей среды (например, это может быть расплавление активной зоны реактора, когда радиоактивный материал удерживается в пределах защитной оболочки). Существует также вероятность возникновения события на таких установках, при котором имеет место значительное распространение радиоактивного загрязнения или увеличивается уровень

излучения, но сохраняется значительная часть глубокоэшелонированной защиты, предотвращающая возникновение значительных последствий для людей и окружающей среды. В обоих случаях значительные последствия не возникают для отдельных лиц за пределами границы площадки, однако в первом случае увеличивается вероятность таких последствий для отдельных лиц, а во втором случае, такие отказы приводят к значительным сбоям в управлении мерами радиологического контроля. Важно, чтобы классификация таких событий по шкале ИНЕС надлежащим образом учитывала эти моменты.

Критерии, отражающие эти моменты, применяются только в случае установок, в отношении которых имеется официальное разрешение и на которых присутствуют большие количества радиоактивных материалов. (Эти критерии ранее назывались критериями воздействия “на площадке”). В случае событий, связанных с источниками излучения и транспортировкой радиоактивных материалов, необходимо применять только критерии воздействия на людей и окружающую среду, а также на глубокоэшелонированную защиту.

1.4.3. Глубокоэшелонированная защита

ИНЕС предназначена для применения ко всем радиологическим событиям, а также ко всем событиям, значимым с точки зрения ядерной или радиационной безопасности, подавляющее большинство которых связано с отказами оборудования или нарушениями в выполнении процедур. Многие такие события не приводят к фактическим последствиям, однако признано, что некоторые из них характеризуются большей по сравнению с другими значимостью с точки зрения безопасности. Если бы события этого типа классифицировались только на основе фактических последствий, то все они оценивались бы как “событие ниже шкалы/уровень 0”, и шкала не имела бы реальной ценности для классификации этих событий. Поэтому с самого начала при разработке ИНЕС было решено, что шкала должна охватывать не только фактические, но также и потенциальные последствия событий.

Был разработан ряд критериев для того, чтобы отразить случаи, которые стали называться “деградацией глубокоэшелонированной защиты.” Этим критерии предполагают, что во всех применениях, связанных с транспортировкой, хранением и использованием радиоактивного материала и источников излучения, предусматривается целый ряд мер обеспечения безопасности. Число и надежность этих средств зависит от их конструкции и масштаба опасности. События могут происходить таким образом, что часть этих средств обеспечения безопасности выходит из строя, однако другие средства обеспечения безопасности предотвращают возникновение фактических последствий. Для информирования о значимости таких событий

предлагаются критерии, которые учитывают количество радиоактивного материала и тяжесть отказа средств обеспечения безопасности.

Так как эти события связаны лишь с более высокой вероятностью возникновения аварии без фактических последствий, максимальная оценка таких событий определяется на уровне 3 (серьезный инцидент). Кроме того, этот максимальный уровень применяется только к практической деятельности, при осуществлении которой существует вероятность возникновения – в случае отказа всех средств обеспечения безопасности – значительной аварии (оцениваемый уровнем 5, 6 или 7 по шкале ИНЕС). В случае событий, связанных с практической деятельностью, которая характеризуется более низкой потенциальной опасностью (например, транспортировка маломощных медицинских или промышленных радиоактивных источников), максимальная оценка по глубокоэшелонированной защите соответственно будет более низкой.

Наконец, в категории глубокоэшелонированной защиты учитываются так называемые дополнительные факторы, в число которых в соответствующих случаях входят отказы по общей причине, неудовлетворительные процедуры (регламенты) и недостатки культуры безопасности. При учете этих дополнительных факторов используемые критерии позволяют повышать оценку на одну ступень по сравнению с оценкой, получаемой исключительно на основе учета значимости фактических отказов оборудования или нарушения административных процедур. (Следует отметить, что в случае событий, связанных с источниками излучения и транспортировкой радиоактивных материалов, возможность повышения оценки вследствие учета дополнительных факторов предусматривается в классификационных таблицах, а не рассматривается отдельно.)

В настоящем документе определены детальные критерии, разработанные для осуществления этих принципов. Применяется три конкретных и согласующихся подхода; для событий, связанных с транспортировкой и источниками излучения, конкретно для событий на энергетических реакторах во время их эксплуатации и для событий на других установках, эксплуатация которых разрешена (в том числе событий на реакторах во время холодного останова, на исследовательских реакторах и ядерных установках во время их снятия с эксплуатации). Поэтому по категории глубокоэшелонированной защиты для каждого из этих трех подходов в настоящем Руководстве предусмотрен отдельный раздел. Каждый раздел является самостоятельным и позволяет пользователям сосредоточиться на руководящих указаниях, относящихся к соответствующим событиям.

Критерии для событий, связанных с транспортировкой и источниками излучения, представлены в серии таблиц, в которых объединяются все эти три элемента глубокоэшелонированной защиты, упомянутые ранее (т.е. количество

радиоактивного материала, степень отказа средств обеспечения безопасности и дополнительные факторы).

Критерии для энергетических реакторов, находящихся в эксплуатации, обеспечивают получение базового уровня классификации на основе двух таблиц и позволяют повысить оценку на одну ступень с учетом дополнительных факторов. Базовый уровень классификации, определяемый по таблицам, зависит от факта затребования действия средств обеспечения безопасности, степени деградации средств обеспечения безопасности и вероятности события, требующего действия таких средств.

Критерии для событий на реакторах, находящихся в состоянии холодного останова, на исследовательских реакторах и других имеющих официальное разрешение установках обеспечивают получение базового уровня классификации на основе таблицы в зависимости от максимальных последствий, масштаба отказа средств обеспечения безопасности и количества сохранившихся средств обеспечения безопасности. Этот последний фактор учитывается путем группирования мер обеспечения безопасности в так называемые независимые эшелоны безопасности и определения числа таких эшелонов безопасности. Таким образом, в результате учета дополнительных факторов в соответствующих случаях базовый уровень классификации повышается еще на одну ступень.

1.4.4. Конечная оценка

В конечной оценке события необходимо учитывать все соответствующие критерии, указанные выше. Все события следует рассматривать с использованием каждого из соответствующих критериев, и событию прививается максимальная оценка. Окончательная проверка на соответствие общему описанию уровней ИНЕС обеспечивает надлежащее проведение классификационной оценки. Общий подход к классификации событий графически представлен на схемах в Разделе 7.

1.5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШКАЛЫ

ИНЕС – это инструмент коммуникации. Главное предназначение шкалы заключается в облегчении коммуникации и взаимопонимания между специалистами, средствами массовой информации и населением в отношении значимости событий с точки зрения безопасности. Некоторые дополнительные конкретные указания по использованию ИНЕС для сообщения информации о событиях даны в подразделе 1.6.

ИНЕС или международная коммуникационная система, основанная на этой шкале, не преследует цель определения практической деятельности или установки, которые должны быть охвачены системой регулирующего контроля, или цель установления требований в отношении событий, о которых пользователи должны направлять сообщения регулирующему органу или общественности. Информирование о событиях и об их оценке по шкале ИНЕС не следует рассматривать как функционирование официальной информационной системы. Точно также критерии шкалы не могут заменить существующие хорошо разработанные критерии, используемые для определения официально проводимых противоаварийных мероприятий в какой-либо стране. Каждая страна устанавливает свои собственные регулирующие правила и меры для таких случаев. Цель ИНЕС состоит в том, чтобы помочь выработать правильное представление о значимости с точки зрения безопасности событий при подготовке сообщений о них.

Важно, чтобы сообщения передавались оперативно; в противном случае в результате произвольного толкования в средствах массовой информации и домыслов населения создается неправильное представление о данном событии. В некоторых случаях, когда на начальном этапе известны не все детали события, рекомендуется сообщать предварительную оценку на основе имеющейся информации и компетентного мнения специалистов, хорошо понимающих характер данного события. Позднее сообщается окончательная классификационная оценка и даются пояснения относительно возможных расхождений.

В случае подавляющего большинства событий такие сообщения будут представлять интерес только для района или страны, где произошло конкретное событие, и участвующие в ИНЕС страны должны вырабатывать механизмы передачи таких сообщений. С целью облегчения передачи международных сообщений о событиях, привлекающих или могущих привлечь к себе широкое внимание, МАГАТЭ и АЯЭ/ОЭСР разработали коммуникационную сеть, которая обеспечивает ввод подробных сведений о событии в формуляр оценки события (ФОС), который далее немедленно распространяется среди всех государств – членов ИНЕС. Начиная с 2001 года эта информационная служба ИНЕС на базе Интернета используется членами ИНЕС для передачи сообщений о событиях специалистам (техническому сообществу), а также средствам массовой информации и населению.

ИНЕС не следует использовать для сравнения уровня безопасности разных установок, в различных организациях или странах. Порядок информирования населения о незначительных событиях может быть разным, и трудно обеспечить строгое согласие в классификации событий, близких к границе между градацией “событие ниже шкалы/уровень 0” и уровнем 1. Информация о событиях уровня 2 и выше по шкале, однако, поступает, и

статистически малое количество таких событий, к тому же меняющееся каждый год, затрудняет проведение значимых сравнений на международном уровне.

1.6. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ О СОБЫТИЯХ

1.6.1. Общие принципы

ИНЕС следует использовать в рамках коммуникационной стратегии на местном, национальном и международном уровнях. В международном документе нецелесообразно точно определять порядок передачи национальных сообщений, однако существуют некоторые общие принципы, которые можно применять. Эти принципы изложены в настоящем разделе. Руководящие указания по передаче международных сообщений приведены в подразделе 1.6.2.

При передаче сообщений о событиях с использованием классификации по ИНЕС необходимо помнить, что целевой аудиторией являются прежде всего средства массовой информации и население. Поэтому следует:

- использовать понятный язык и избегать применения технического жаргона в итоговом описании события;
- избегать употребления сокращений, особенно при описании оборудования или систем (например, следует писать главный циркуляционный насос, а не ГЦН);
- указывать подтвержденные фактические последствия, такие как детерминированные эффекты для здоровья работников и/или лиц из населения;
- указывать оцененное число работников и/или лиц из населения, подвергшихся облучению, а также полученную ими фактическую дозу;
- четко подтверждать отсутствие последствий для людей и окружающей среды;
- указывать информацию о любых осуществленных защитных мерах.

При сообщении информации о событиях на ядерных установках указываются :

- дата и время события;
- название установки и место ее нахождения;
- тип установки;
- подвергшиеся воздействию главные системы, если таковые имеются в данном случае;

- наличие выброса радиоактивности в окружающую среду или последствий для людей и окружающей среды.

Кроме того, в описание события, связанного с источниками излучения или транспортировкой радиоактивных материалов, включается информация о:

- радионуклидах, фигурирующих в событиях;
- практической деятельности, в которой использовался источник, и его категории по классификации МАГАТЭ [1];
- состоянии источника и связанного с ним устройства; если источник был утерян, то указывается любая информация, которая может быть полезна при идентификации источника или устройства, такая как регистрационный(е) серийный(е) номер(а).

1.6.2. Международные сообщения

Как поясняется в подразделе 1.5, МАГАТЭ поддерживает функционирование системы, облегчающей передачу международных сообщений о событиях. Важно понимать, что эта служба не является официальной информационной системой и что данная система работает на добровольной основе. Предназначение этой системы заключается в облегчении коммуникации и взаимопонимания между техническим сообществом (соответствующей отрасли и регулирующими органами), средствами массовой информации и населением в отношении значимости с точки зрения безопасности событий, привлечших или могущих привлечь внимание средств массовой информации на международном уровне. Данная система полезна также для передачи сообщений о трансграничных событиях, связанные с транспортировкой.

Многие страны согласились участвовать в системе ИНЕС, поскольку они безусловно признают важность обеспечения открытых сообщений о событиях с четким указанием их значимости.

Всем странам настоятельно рекомендуются сообщать о событиях на международном уровне (по возможности в течение 24 ч) в соответствии с согласованными критериями, указанными ниже:

- события оцениваются уровнем 2 и выше; или
- события вызывают международный общественный интерес.

В отдельных случаях может требоваться более длительный период времени для уточнения или оценки фактических последствий события. В таких

случаях следует давать предварительную классификационную оценку с последующей конечной оценкой, сообщаемой позднее.

Информация о событиях направляется в систему национальными представителями по ИНЕС, официально назначенными государствами-членами. В системе предусмотрено представление описания события, классификационной оценки по шкале ИНЕС, сообщения для печати (на национальном и английском языках) и технической документации для специалистов. Описания события, классификационные оценки и сообщения для печати доступны широкой общественности без регистрации. Доступ к технической документации ограничен и предоставляется назначенным и зарегистрированным экспертам.

Основные элементы информации, представляемой в случае конкретного события, указаны в ФОС. Информация, сообщаемая общественности, должна удовлетворять принципам, изложенным в подразделе 1.6.1. При применении шкалы в случае транспортировки радиоактивных материалов вовлеченность нескольких стран в некоторые события, связанные с транспортировкой, может затруднять передачу сообщений; тем не менее по каждому событию ФОС должен представляться только одной страной. ФОС, к которому общественность не имеет прямого доступа, представляется страной, где происходит событие. Применяемые принципы являются следующим:

- предполагается, что страна, которая первой обнаруживает событие, начинает обсуждение вопроса о том, какая страна будет представлять формуляр оценки события;
- в общем случае, если событие приводит к фактическим последствиям, по-видимому, целесообразно, чтобы страна, в которой эти последствия имеют место, представляла формуляр оценки события; если событие приводит к нарушениям в административном контроле или повреждениям упаковочного комплекта, по всей вероятности, целесообразно, чтобы страна, отправляющая упаковку, представляла формуляр оценки события; в случае утери упаковки представляется целесообразным, чтобы страна, которая является местом происхождения груза, проводила классификацию и передавала сообщение о событии;
- в случаях, когда от других стран требуется информация, эта информация может быть получена через соответствующий компетентный орган, и ее следует учитывать при подготовке формуляра оценки события;
- в случае событий, связанных с ядерными установками, необходимо указывать установку, ее место нахождения и тип;
- в случае событий, связанных с источниками излучения, по-видимому, полезно включать некоторые технические детали, касающиеся источника/устройства, или указывать регистрационные номера устройств,

- поскольку система ИНЕС обеспечивает оперативное распространение такой информации на международном уровне;
- в случае событий, связанных с транспортировкой радиоактивных материалов, по-видимому, полезно указывать тип упаковки, (например, освобожденная, промышленная, тип А, В);
 - в случае ядерных установок представляемая базовая информация включает название, тип и место нахождения установки, а также описание воздействия на людей и окружающую среду. Несмотря на наличие других механизмов международного обмена опытом эксплуатации, система ИНЕС обеспечивает передачу первоначального сообщения о событии средствами массовой информации, населению и специалистам (техническому сообществу);
 - формуляр оценки события также включает информацию по основе, использованной для классификационной оценки события. Эта информация не является частью материала, включаемого в сообщение для общественности, однако она является полезной для других национальных представителей и позволяет им понять основу классификации и соответствующим образом реагировать на любые возникающие вопросы. В пояснительном материале к классификационной оценке следует четко указывать, как была выполнена оценка события со ссылками на соответствующие элементы процедуры оценки.

1.7. СТРУКТУРА РУКОВОДСТВА

Руководство разделено на семь основных разделов.

Раздел 1 содержит общий обзор ИНЕС.

В Разделе 2 даны подробные указания по классификации событий с точки зрения их воздействия на людей и окружающую среду. Представлен ряд рабочих примеров.

В Разделе 3 даются подробные указания по классификации событий с точки зрения их воздействия на радиологические барьеры и контроль на установках. Представлено также несколько рабочих примеров.

Разделы 4, 5 и 6 содержат подробные указания по классификации событий с точки зрения их воздействия на глубокоэшелонированную защиту.

В Разделе 4 изложены указания, касающиеся глубокоэшелонированной защиты, применительно ко всем событиям, связанным с транспортировкой и источниками излучения, за исключением событий, которые происходят на:

- ускорителях;

- установках, связанных с изготовлением и распределением радионуклидов;
- установках, в которых используется источник категории 1 [1].

Все эти случаи рассматриваются в Разделе 6.

Раздел 5 содержит указания, касающиеся глубокоэшелонированной защиты, применительно к событиям на энергетических реакторах. Этот раздел охватывает только события, при которых реактор работает на мощности. События на энергетических реакторах в режиме временного останова, окончательного останова или снятия с эксплуатации рассматриваются в Разделе 6. События на исследовательских реакторах также рассматриваются в Разделе 6.

В Разделе 6 даются указания, касающиеся глубокоэшелонированной защиты, применительно к событиям на установках топливного цикла, исследовательских реакторах, ускорителях (например, линейных ускорителях и циклотронах) и к событиям, связанным с отказами средств обеспечения безопасности на установках, имеющих отношение к изготовлению и распределению радионуклидов, или на установках, в которых используются источники категории 1. Этот раздел также содержит указания по классификации событий на ядерных энергетических реакторах в режиме холодного останова (кратковременного останова, окончательного останова или снятия с эксплуатации).

Три отдельных раздела, посвященных глубокоэшелонированной защите, предусмотрены с целью упрощения работы специалистов по классификационной оценке событий. Разделы до некоторой степени дублируют друг друга, при этом каждый раздел содержит все, что требуется для классификации событий соответствующего типа. В каждый из трех разделов по глубокоэшелонированной защите включены соответствующие рабочие примеры.

Раздел 7 содержит краткое описание процедур, используемых для оценки событий, включая иллюстративные схемы и таблицы примеров.

Четыре дополнения, два приложения и перечни справочных материалов содержат некоторую дополнительную справочную информацию научного характера.

Определения и терминология, принятые в настоящем Руководстве, представлены в Глоссарии.

Настоящее Руководство заменяет издание 2001 года [2], рабочие материалы 2006 года, опубликованные в качестве дополнительных руководящих материалов для национальных представителей [3], и разъяснения по событиям, связанным с повреждением топлива, одобренные в 2004 году [4].

2. ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЛЮДЕЙ И ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

2.1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

Классификация событий по воздействию на людей и окружающую среду отражает фактическое радиологическое воздействие, оказываемое на персонал, население и окружающую среду. Оценка основывается на дозах облучения людей или на количестве радиоактивного материала, содержащегося в выбросах. Если оценка основывается на дозе облучения, она также учитывает число облученных людей. События должны также оцениваться с использованием критериев, относящихся к глубокоэшелонированной защите (Разделы 4, 5 или 6) и в соответствующих случаях с использованием критериев, относящихся к радиологическим барьерам и контролю на установках (Раздел 3), если использование этих критериев приводит к более высокой классификационной оценке по шкале ИНЕС.

В случае серьезного инцидента или аварии на ранних стадиях события иногда невозможно точно определить полученные дозы облучения или величину выброса. Однако можно сделать первоначальную оценку и таким образом представить предварительную классификационную оценку. Необходимо помнить, что ИНЕС предназначена для обеспечения оперативной передачи сообщений о значимости событий.

В случаях, когда значительного выброса нет, но он возможен, если данное событие не будет поставлено под контроль, предварительную оценку уровня, по-видимому, следует делать на основе того, что фактически произошло к данному моменту (с использованием всех соответствующих критериев ИНЕС). Последующая переоценка последствий, возможно, потребует пересмотра предварительной классификационной оценки.

Данную шкалу не следует путать с системами классификации аварийных ситуаций, и ее не следует использовать в качестве основы для определения мер аварийного реагирования. Аналогичным образом данные о масштабах аварийного реагирования на события не используются в качестве основы для классификационной оценки. Конкретные планы действий в случае радиологических событий различны в разных странах, и в некоторых случаях могут быть приняты предупредительные меры, не вполне оправданные с точки зрения фактической величины выброса. По этим причинам при классификации события, т.е. при определении уровня по шкале, следует исходить из величины выброса и оценки дозы, а не из объема мер защиты, принятых в соответствии с аварийными планами.

В данном разделе приводится описание критериев двух типов:

- количество выброшенной активности: применяется в случае крупных выбросов радиоактивного материала в окружающую среду;
- дозы, полученные отдельными лицами: применяется в случае всех других ситуаций.

Процедуры применения этих критериев кратко изложены на схемах в Разделе 7. Следует отметить, однако, что в случае событий, связанных с транспортировкой (перевозкой) и источниками излучения необходимо рассматривать только критерии, касающиеся доз облучения, получаемых отдельными лицами, когда происходит значительный выброс радиоактивного материала.

2.2. АКТИВНОСТЬ ВЫБРОСА

Верхние четыре уровня шкалы (уровни 4–7) включают определение в терминах количества активности выброса, когда определяется величина ее радиологической эквивалентности по числу терабеккерелей ^{131}I . (Метод оценки радиологической эквивалентности изложен в подразделе 2.2.1). Выбор данного изотопа является до некоторой степени произвольным. Он был выбран, поскольку шкала была первоначально разработана для атомных электростанций и ^{131}I в целом является одним из наиболее распространенных изотопов в выбросе.

Использование величины выброса, а не оценки дозы обусловлено тем, что в случае больших выбросов фактически полученная доза в очень значительной степени зависит от принимаемых защитных мер и других условий окружающей среды. Если защитные меры осуществляются успешно, то полученные дозы не будут увеличиваться пропорционально величине выброса.

2.2.1. Методы оценки выбросов

Существует два метода оценки радиологической значимости выброса в зависимости от происхождения выброса и, следовательно, использования наиболее подходящих допущений в отношении оценки эквивалентности выбросов. Для атмосферного выброса из ядерной установки, такой как реактор или установка топливного цикла, в таблице 2 приводятся коэффициенты пересчета радиологической эквивалентности по ^{131}I , которые следует применять в этом случае. Фактическую активность изотопа в выбросе следует умножить на коэффициент, приведенный в таблице 2 а затем сравнить ее с величинами, указанными в определениях каждого уровня. Если происходит выброс нескольких изотопов, то следует рассчитать и затем суммировать

ТАБЛИЦА 2. РАДИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ ПО ^{131}I ДЛЯ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ

Изотоп	Коэффициент-множитель
Am-241	8 000
Co-60	50
Cs-134	3
Cs-137	40
H-3	0,02
I-131	1
Ir-192	2
Mn-54	4
Mo-99	0,08
P-32	0,2
Pu-239	10 000
Ru-106	6
Sr-90	20
Te-132	0,3
U-235(S) ^a	1 000
U-235(M) ^a	600
U-235(F) ^a	500
U-238(S) ^a	900
U-238(M) ^a	600
U-238(F) ^a	400
U прир.	1 000
Инертные газы	Пренебрежимо мал (практически 0)

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

эквивалентную величину для каждого из них, (см. примеры 5-7). Порядок расчета этих коэффициентов разъясняется в Дополнении I.

В случае выброса во время транспортировки радиоактивных материалов или при использовании источников излучения следует применять значения D_2 -величины. Значения D-величины представляют уровень активности, выше которого источник считается “опасным” и потенциально может привести к тяжелым (серьезным) детерминированным эффектам, если не обеспечивать безопасное и надежное обращение с ним. D_2 -величина – это “активность

радионуклида в источнике, могущая в неконтролируемых условиях и при рассеянии (диспергировании) материала привести к аварийной ситуации, которая, как можно с достаточным основанием ожидать, способна вызвать тяжелые детерминированные эффекты для здоровья” [5]. В Дополнении III приводятся значения D_2 -величины для ряда изотопов.

В случае событий с выбросами, которые не становятся аэрозольными (например, водными сбросами или радиоактивным загрязнением почвы вследствие утечки радиоактивного материала), следует проводить классификацию на основе дозы с использованием указаний, содержащихся в подразделе 2.3. Жидкие сбросы, приводящие к дозам облучения, значительно превышающим дозу, соответствующую уровню 3, необходимо оценивать уровнем 4 или выше, при этом оценка радиологической эквивалентности будет привязана к конкретной площадке, и поэтому подробные указания не могут быть даны здесь.

2.2.2. Определение уровней на основе выброса активности²

Уровень 7

“Событие, приводящее к выбросу в окружающую среду, соответствующему количеству радиоактивности, радиологически эквивалентному выбросу в атмосферу нескольких десятков тысяч терабеккерелей ^{131}I или более.”

Это соответствует выбросу большей доли материала активной зоны энергетического реактора, обычно содержащего смесь коротко- и долгоживущих радионуклидов. При таком выбросе ожидаются стохастические последствия для здоровья на обширной территории, возможно, даже не в одной стране, и возможны проявления детерминированных эффектов для здоровья. Возможны также долгосрочные экологические последствия, и вероятно, что потребуются защитные меры, такие как укрытие и эвакуация, с целью предотвращения или ограничения масштабов последствий для здоровья лиц из населения.

² Эти критерии относятся к авариям, в случае которых начальные оценки величины выброса могут быть лишь приблизительными. Поэтому в определениях уровней нецелесообразно применять точные численные значения. Однако в целях обеспечения последовательной интерпретации этих критериев на международном уровне предлагаются границы между уровнями, соответствующие приблизительно 500, 5000 и 50 000 ТБк ^{131}I .

Уровень 6

“Событие, приводящее к выбросу в окружающую среду, соответствующему количеству радиоактивности, радиологически эквивалентному выбросу в атмосферу порядка от тысяч до нескольких десятков тысяч терабеккерелей ¹³¹I.”

При таком выбросе весьма вероятно, что будут обоснованы и необходимы защитные мероприятия, такие как укрытие в убежищах и эвакуация, для предотвращения или ограничения масштабов последствий для здоровья лиц из населения.

Уровень 5

“Событие, приводящее к выбросу в окружающую среду, соответствующему количеству радиоактивности, радиологически эквивалентному выбросу в атмосферу порядка от сотен до тысяч терабеккерелей ¹³¹I.”

или

“Событие, приводящее к рассеянному выбросу активности от радиоактивного источника с активностью, более чем в 2500 раз превышающей значение D_2 -величины для изотопов выброса.”

Вследствие фактического выброса могут потребоваться некоторые защитные мероприятия (например, локальное укрытие и/или эвакуация для предотвращения или сведения к минимуму вероятности последствий для здоровья).

Уровень 4

“Событие, приводящее к выбросу в окружающую среду, соответствующему количеству радиоактивности, радиологически эквивалентному выбросу в атмосферу порядка от десятков до сотен терабеккерелей ¹³¹I.”

или

“Событие, приводящее к рассеянному (диспергированному) выбросу активности от радиоактивного источника с активностью, более чем в 250 раз превышающей значение D_2 -величины для изотопов выброса.”

При таком выбросе защитные мероприятия, вероятно, не будут требоваться, за исключением обеспечения локального контроля качества пищевых продуктов.

2.3. ДОЗЫ, ПОЛУЧАЕМЫЕ ОТДЕЛЬНЫМИ ЛИЦАМИ

Наиболее простым критерием является доза, полученная в результате данного события, и уровни 1 - 6 включают определения на основе этого критерия³. Если не оговаривается конкретно (см. критерии уровня 1³), они применяются к полученным дозам или дозам, которые могут быть легко получены⁴ в результате оцениваемого единичного события (т.е. исключая суммарное облучение). Минимальная классификационная оценка, согласно определению, дается, если одно лицо подвергается облучению свыше этих критериев (подраздел 2.3.1), и более высокая классификационная оценка присваивается, если большее количество лиц подвергается облучению свыше данных критериев (подраздел 2.3.2).

2.3.1. Критерии оценки минимального уровня при облучении одного человека

Уровень 4 – это минимальный уровень для событий, которые приводят к:

- 1) *“возникновению летального детерминированного эффекта;*
или
- 2) *вероятному возникновению летального детерминированного эффекта в результате облучения всего тела, приводящего к поглощенной дозе⁵ порядка нескольких Гр”.*

³ Определения уровня 1 базируются на критериях глубокоэшелонированной защиты, разъясняемых в разделах 4–6, однако здесь они включены для полноты изложения.

⁴ Смысл здесь заключается не в том, чтобы выдумывать сценарии, отличные от того, что происходит, а в том, чтобы учесть дозы, которые неосознанно, согласно разумному предположению, могут быть получены. Например, если радиоактивный источник был отделен от защиты и транспортируется, следует оценивать дозы для водителей и лиц, которые совершают погрузочно-разгрузочные работы с упаковками.

⁵ Если излучение с высокой ЛПЭ является значительным, в поглощенной дозе следует учитывать соответствующую ОБЭ. Для определения соответствующей классификационной оценки по шкале ИΝЕС следует использовать взвешенную по ОБЭ поглощенную дозу.

В Дополнении II приводятся дополнительные подробные сведения о вероятности смертельных детерминированных эффектов и о пороговых значениях для нелетальных детерминированных эффектов.

Уровень 3 – это минимальный уровень для событий, которые приводят к:

- 1) *“возникновению или вероятному возникновению нелетального детерминированного эффекта (см. Дополнение II, содержащее дополнительные подробные сведения);*

или

- 2) *облучению с эффективной дозой, превышающей более чем в десять раз установленный предел годовой дозы облучения всего тела для работников”.*

Уровень 2 – это минимальный уровень для событий, которые приводят к:

- 1) *“облучению лица из населения с эффективной дозой, превышающей 10 мЗв;*

или

- 2) *облучению работника, превышающему установленные пределы годовой дозы⁶.”*

Уровень 1³ – это минимальный уровень для событий, которые приводят к:

- 1) *“облучению лица из населения, превышающему установленные пределы годовой дозы⁶;*

или

- 2) *облучению работника, превышающему граничные дозы⁷;*

или

- 3) *суммарному облучению работника или лица из населения, превышающему установленные пределы годовой дозы⁶”.*

⁶ Пределами доз, которые должны учитываться, являются все установленные пределы дозы, включая эффективную дозу для всего тела, дозы для кожи, дозы для конечностей и дозы для хрусталика глаза.

⁷ Граничная доза – это значение дозы ниже установленного предела дозы, который может быть введен государством.

2.3.2. Критерии, применяемые в случае облучения нескольких человек

Если облучению подвергается более чем один человек, следует оценивать число людей, подпадающее под каждый из уровней, определения которых приведены в подразделе 2.3.1, и в каждом случае указания, изложенные в следующих ниже пунктах, при необходимости следует использовать для повышения классификационной оценки.

В случае облучений, которые не приводят или вряд ли могут привести к детерминированному эффекту, минимальную классификационную оценку, согласно подразделу 2.3.1, следует повышать на одну ступень, если дозы, превышающие значение, определенное для данного уровня, получает 10 или более человек, и на две ступени, если дозы получает 100 или более человек.

В случае облучений, которые не приводят или вряд ли могут привести к детерминированным эффектам, применяется более консервативный подход, и классификационные оценки следует повышать на одну ступень, если дозы, превышающие значение, определенное для данного уровня, получает несколько человек, и на две ступени, если дозы получает несколько десятков человек.⁸

Сводная таблица критериев данного и предыдущего разделов представлена в подразделе 2.3.4.

Если определенное число лиц подвергается облучению на различных уровнях, классификационная оценка события устанавливается по наивысшему из значений, полученных посредством применения описываемого процесса. Например, в случае события, при котором 15 человек из населения получают эффективную дозу 20 мЗв, минимальная классификационная оценка этой дозы будет на уровне 2. Поправка на число облученных лиц (15) приводит к повышению оценки на одну ступень до классификационной оценки на уровне 3. Однако, если только одно лицо из населения получает эффективную дозу 20 мЗв, а 14 человек – эффективные дозы от одного до 10 мЗв, классификационная оценка с учетом получивших эффективную дозу 20 мЗв будет определена на уровне 2 (минимальная классификационная оценка без поправки на повышение, так как был облучен только один человек) и классификационная оценка с учетом получивших эффективную дозу более одного, но менее 10 мЗв определяется на уровне 2 (минимальная классификационная оценка на уровне 1 с поправкой на повышение на одну ступень, так как облучению подверглось более 10 человек). Таким образом, общая классификационная оценка будет на уровне 2.

⁸ В качестве ориентира, который будет обеспечивать последовательный подход к применению этих критериев, можно принять допущение, что “несколько” означает больше трех и “несколько десятков” – больше 30. (Эти значения приблизительно соответствуют половине порядка величины по логарифмической шкале.)

2.3.3. Методология оценки доз

Методология оценки доз, получаемых работниками и населением, должна быть реалистичной и соответствовать стандартным допущениям в отношении оценки дозы, принятым на национальном уровне. Оценку следует основывать на реальном сценарии, включающем осуществление защитных мероприятий.

Если не представляется возможным точно установить, что конкретные отдельные лица получили дозы облучения (например, если впоследствии было обнаружено, что транспортная упаковка имела неадекватную защиту), следует проводить оценку вероятных доз и на основе реконструкции вероятного сценария определять классификационный уровень по шкале ИНЕС.

2.3.4. Краткое изложение

Руководящие указания подраздела 2.3 в кратком виде изложены в таблице 3, показывающей как учитываются уровень дозы и число облученных людей.

ТАБЛИЦА 3. СВОДКА КЛАССИФИКАЦИОННЫХ ОЦЕНОК НА ОСНОВЕ ДОЗ, ПОЛУЧЕННЫХ ОТДЕЛЬНЫМИ ЛИЦАМИ

Уровень облучения	Миним. оценка	Число отдельных лиц	Факт. оценка
Возникновение летального детерминированного эффекта или вероятное возникновение летального детерминированного эффекта в результате облучения всего тела, приводящего к поглощенной дозе порядка нескольких Гр	4	Несколько десятков или более	6 ^a
		От нескольких до нескольких десятков человек	5
		Меньше чем несколько человек	4
Возникновение или вероятное возникновение нелетального детерминированного эффекта	3	Несколько десятков или более	5
		От нескольких до нескольких десятков человек	4
		Меньше чем несколько человек	3
Облучению с эффективной дозой, превышающей более чем в десять раз установленный предел годовой дозы облучения всего тела для работников	3	100 или более человек	5
		10 или более человек	4
		Меньше чем десять человек	3

ТАБЛИЦА 3. СВОДКА КЛАССИФИКАЦИОННЫХ ОЦЕНОК НА ОСНОВЕ ДОЗ, ПОЛУЧЕННЫХ ОТДЕЛЬНЫМИ ЛИЦАМИ (продолж.)

Уровень облучения	Миним. оценка	Число отдельных лиц	Факт. оценка
Облучение лица из населения с эффективной дозой, превышающей 10 мЗв или облучение работника, превышающее установленные пределы годовой дозы	2	100 или более человек	4
		10 или более человек	3
		Меньше чем десять человек	2
Облучение лица из населения, превышающее установленные пределы годовой дозы или облучение работника, превышающее граничные дозы	1	100 или более человек	3
		10 или более человек	2
		Меньше чем десять человек	1 ^b
Суммарное облучению работников или лиц из населения, превышающее установленные пределы годовой дозы	1	1 или более человек	1 ^b

^a Уровень 6 не считается заслуживающим доверия в случае любого события, связанного с источниками излучения.

^b Как поясняется в подразделе 2.3, определения уровня 1 базируются на критериях глубокоэшелонированной защиты, разъясняемых в Разделах 4-6, однако здесь они включены для полноты изложения.

2.4. РАБОЧИЕ ПРИМЕРЫ

Приведенные примеры предназначены для иллюстрации руководящих указаний по классификации, содержащихся в данном разделе настоящего Руководства. Примеры основаны на реальных событиях, которые были немного изменены в целях иллюстрации использования различных элементов руководящих указаний. Классификационная оценка, полученная в данном разделе, не обязательно является конечной оценкой, так как необходимо будет рассмотреть критерии, изложенные в Разделах 3 – 6, для определения конечной оценки.

Пример 1. Переоблучение электрика в больнице — уровень 2

Описание события

Мастер выполнял работы по монтажу и регулированию нового радиотерапевтического аппарата в больнице, однако он не знал, что вверху над потолком работал электрик. Мастер испытывал машину, направляя пучок излучения на потолок, и электрик, вероятно, был облучен. Оцененная доза облучения всего тела составила эффективную дозу в интервале между 80 и 100 мЗв. Какие-либо симптомы у электрика отсутствовали, однако в качестве меры предосторожности был сделан анализ крови. Как и ожидалось в случае этого уровня дозы, анализ крови дал отрицательные результаты.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2.2.1. Активность выброса	Критерий не применяется. Выброс отсутствует.
2.3. Дозы, получаемые отдельными лицами	Один человек (не являющийся лицом, профессионально работающим с источниками излучений) получил эффективную дозу облучения свыше 10 мЗв, но менее уровня, превышающего в “десять раз установленный предел годовой дозы облучения всего тела для работников”. Детерминированные эффекты для здоровья отсутствуют. Классификационный уровень 2.
Оценка воздействия на людей и окружающую среду	Уровень 2.

Пример 2. Переоблучение рентгенолога — уровень 2

Описание события

Рентгенолог отсоединял направляющую трубку источника от радиографической камеры и заметил, что источник не был в позиции полного экранирования. Облучательное устройство содержало закрытый источник на ^{192}Ir активностью 807 ГБк. Рентгенолог обратил внимание на то, что его карманная ионизационная камера зашкаливает и уведомил об этом сотрудника службы радиационной безопасности (СРБ) компании. Поскольку дозиметры для конечностей обычно не используются при выполнении радиографического контроля, СРБ провела реконструкцию дозы. На основе реконструкции дозы было сделано заключение, что один человек, возможно, получил дозу

облучения конечностей в интервале 3,3-3,6 Гр, которая превышает установленный предел годовой дозы 500 мЗв на кожу или конечности. Результаты дозиметрии всего тела показали, что рентгенолог получил дозу облучения на все тело, равную приблизительно 2 мЗв. Рентгенолог был госпитализирован для наблюдения и позднее выписан из больницы. Детерминированных эффектов выявлено не было.

Впоследствии полученная информация показала, что рентгенолог носил свой дозиметр на бедре, и тело, вероятно, экранировало дозиметр.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2.2. Активность выброса	Критерий не применяется. Выброс отсутствует.
2.3. Дозы, получаемые отдельными лицами	Один работник получил дозу, превышающую установленный годовой предел. Детерминированных эффектов выявлено не было, и их появление не ожидается. Уровень 2. (Даже с учетом возможного экранирования дозиметра эффективная доза оказалась значительно ниже критериев для уровня 3).
Оценка воздействия на людей и окружающую среду	Уровень 2.

Пример 3. Переоблучение промышленного рентгенолога — уровень 3

Описание события

Три работника выполняли работу по промышленному радиографическому контролю, используя источник на ^{192}Ir активностью 3,3 ТБк на башенной платформе высотой 22,5 м. По какой-то причине ^{192}Ir -источник (гибкий блок) отсоединился от привода (или вообще не был закреплен). В конце работы один из работников отвернул направляющую трубку, и источник выпал на платформу незамеченным (радиационные пейджеры или карманные дозиметры не использовались). Работники покинули рабочее место, и вечером (в 23.00) служащий предприятия обнаружил источник и попытался идентифицировать его. Он показал источник коллеге, и последний заметил, что у первого служащего образовалась набухшая щека. Первый служащий передал источник своему коллеге и спустился с платформы умыться лицо. Второй служащий спустился с башни вниз с источником в руке. Когда оба служащих решили передать источник начальнику в его кабинете, дозиметр со звуковой сигнализацией работника из другой компании подал тревожный сигнал, который указывал на

присутствие мощного поля излучения. Источник был идентифицирован, и служащим было разъяснено, что найденный металлический предмет является опасным радиоактивным источником, и рекомендовано немедленно убрать его в безопасное место. Источник был помещен в трубу, и об инциденте было сообщено владельцу компании, после чего источник был изъят. Время, истекшее между определением того, что источник является радиоактивным, и изъятием источника, составило около получаса. Три строительных работника были направлены на медицинское обследование (включая цитогенетическое исследование), а затем госпитализированы. У одного из них были обнаружены некоторые детерминированные эффекты (тяжелые радиационные ожоги на одной руке). У пяти служащих компании по промышленной радиографии были взяты образцы крови для проведения исследования в цитогенетической лаборатории, однако никаких отклонений выявлен не было.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2.2. Активность выброса	Критерий не применяется.
2.3. Дозы, получаемые отдельными лицами	У одного человека обнаружены детерминированные эффекты от воздействия излучения. Это соответствует классификационной оценке на уровне 3.
Оценка воздействия на людей и окружающую среду	Уровень 3.

Пример 4. Разрушение брошенного высокоактивного источника — уровень 5

Описание события

Частный радиотерапевтический институт переезжал на новое место, перевез туда телетерапевтическую ^{60}Co -установку и оставил на старом месте телетерапевтическую ^{137}Cs -установку активностью 51 ТБк. Лицензирующий орган не был уведомлен об этом, как это требовалось в соответствии с лицензией, выданной институту. Бывшее помещение впоследствии было частично разрушено. В результате полная безопасность телетерапевтической ^{137}Cs -установки не обеспечивалась. Два человека проникли в полуразрушенное помещение и, не зная, что собой представляет эта установка, но считая, что она может быть использована в качестве металлолома, демонтировали блок источника из установки. Они принесли домой этот блок и попытались разобрать его. В результате этих попыток капсула с источником была

разрушена. Радиоактивный источник был в виде соли хлористого цезия - легкорастворимого и быстродиспергируемого вещества. В результате несколько человек подверглись радиоактивному загрязнению и облучению.

После разрушения капсулы источника оставшиеся части блока источника были проданы в виде металлолома владельцу свалки. Тот заметил, что материал источника в темноте светится голубым светом. Это вызвало большой интерес у присутствовавших, и на протяжении нескольких дней друзья и родственники приходили посмотреть на это свечение. Частички источника размером с рисовое зерно попали в несколько семей. Через пять дней у некоторых людей в результате облучения от источника стали наблюдаться симптомы желудочно-кишечных расстройств. Сначала эти симптомы не ассоциировались с облучением. Однако у одного из облученных возникло предположение о наличии связи между болезнью и капсулой источника, и он отнес остатки источника в городской департамент здравоохранения.

Этот шаг повлек за собой цепь событий, которые привели к выявлению аварии. Местный физик первым провел мониторинг и оценку масштабов аварии и по собственной инициативе предпринял действия по эвакуации людей из двух зон. Одновременно компетентным органам была направлена соответствующая информация, после чего оперативно были осуществлены масштабные меры реагирования. Также оперативно были выявлены другие районы со значительным радиоактивным загрязнением и эвакуированы жители этих районов. В результате данного события у восьми человек развился острый лучевой синдром (острая лучевая болезнь), и четыре человека умерли от радиационного облучения.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2.2. Активность выброса	Источник был разрушен, и большая часть активности поступила в окружающую среду. D ₂ -величина для ¹³⁷ Cs согласно Дополнению III составила 20 ТБк, таким образом выход активности был приблизительно 2,5 раза больше значения D-величины, которое значительно ниже активности для уровня 4 “более чем в 250 раз превышающей значение D ₂ -величины”.
2.3. Дозы, получаемые отдельными лицами	Один случай смерти от облучения оценивается на уровне 4. Поскольку погибли четыре человека, классификационную оценку следует повысить на одну ступень.
Оценка воздействия на людей и окружающую среду	Уровень 5.

Пример 5. Выброс иода-131 из реактора — уровень 5

Описание события

Произошло загорание графитового замедлителя реактора для производства плутония с воздушным охлаждением, которое привело к значительному выбросу радиоактивного материала. Пожар начался во время отжига графитовой кладки. Во время нормальной эксплуатации реактора нейтроны, соударяющиеся с графитом, приводят к искажению кристаллической структуры графита. Это искажение вызывает накопление запасенной энергии в графите. Процесс контролируемого отжига использовался для восстановления графитовой структуры и высвобождения запасенной энергии. К сожалению, в данном случае произошло высвобождение чрезмерно большого количества энергии, что привело к повреждению топлива. Металлическое урановое топливо и графит вступили в реакцию с воздухом и начали гореть. Первый сигнал о ненормальном режиме поступил с пробоотборников воздуха, находящихся на расстоянии, равном приблизительно 800 м. Уровни радиоактивности в 10 раз превышали нормальные значения для воздуха. Отбор проб около здания реактора подтвердил факт выхода радиоактивности. Обследование активной зоны показало, что произошел перегрев тепловыделяющих элементов приблизительно в 150 каналах. После нескольких часов, в течение которых осуществлялись попытки применения различных методов, пожар был потушен путем затопления водой и выключения вентиляторов принудительного воздушного охлаждения. Установка была расхоложена. Количество выброшенной активности, согласно расчетам, составило 500 – 700 ТБк по ^{131}I и 20 – 40 ТБк по ^{137}Cs . Детерминированные эффекты отсутствовали, и никто не получил дозу, приближающуюся к уровню, превышающему в десять раз установленный предел годовой дозы облучения всего тела для работников.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2.2. Активность выброса	Коэффициент для радиологической эквивалентности ^{37}Cs , определенный по таблице 2, равен 40, таким образом суммарный выброс был радиологически эквивалентен 1300 - 2300 ТБк ^{131}I . Поскольку верхняя граница значительно ниже 5000 ТБк, получается оценка на уровне 5, “выброс, эквивалентный от сотен до тысяч ТБк ^{131}I ”.
2.3. Дозы, получаемые отдельными лицами	Критерий не применяется. Фактические индивидуальные дозы отсутствуют, и, поскольку никто не получил дозы, приближающейся к критериям уровня 3, критерии индивидуальной дозы не могут привести к повышению классификационной оценки, полученной на основе критериев большого выброса.
Оценка воздействия на людей и окружающую среду	Уровень 5.

Пример 6. Перегрев бака для хранения высокоактивных отходов на установке по переработке топлива — уровень 6

Описание события

Вышла из строя система охлаждения бака для хранения высокоактивных отходов, что привело к росту температуры содержимого бака. Последовавший за этим взрыв сухих нитратных и ацетатных солей был силой в 75 т ТНТ. Бетонная крышка толщиной 2,5 м была отброшена на расстояние в 30 м. С целью ограничения серьезных последствий для здоровья людей были приняты противоаварийные меры, включая эвакуацию.

Наиболее значительными составляющими выброса оказались 1000 ТБк ^{90}Sr и 13 ТБк ^{137}Cs . Большая площадь размером 300 × 50 км была загрязнена с плотностью загрязнения более 4 кБк/м² по ^{90}Sr .

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2.2. Активность выброса	Коэффициент для радиологической эквивалентности ^{90}S и ^{137}Cs , определенный по таблице 2, равен 20 и 40 соответственно, таким образом суммарный выброс был радиологически эквивалентен 20 500 ТБк ^{131}I . Получается оценка на уровне 6, “выброс, эквивалентный от тысяч до десятков тысяч ТБк ^{131}I ”.
2.3. Дозы, получаемые отдельными лицами	Необходимости рассматривать эти дозы нет, так как событие уже оценено уровнем 6.
Классификационная оценка фактических последствий	Уровень 6.

Пример 7. Большой выброс активности после аварии с возникновением критичности и пожара — уровень 7

Описание события

Недостатки конструкции и плохо спланированные и проводимые испытания привели к тому, что реактор вышел на сверхкритический режим. Были предприняты попытки заглушить реактор, однако произошел скачок мощности, и некоторые твэлы начали растрескиваться, в результате чего фрагменты твэлов оказались на одном уровне с узлами регулирующих стержней. Эти стержни заклинило, когда они опустились всего лишь на треть своего хода, и поэтому были не в состоянии остановить реакцию. Мощность реактора возросла примерно до 30 ГВт и в десять раз превысила нормальную эксплуатационную мощность. Твэлы начали плавиться, и давление пара быстро увеличивалось и привело к мощному паровому взрыву. Образовавшийся пар устремился вверх по каналам твэлов реактора, сорвал и разрушил плиту реактора, разорвал трубы контура охлаждения, а затем проломил отверстие в крыше реактора. После того, как часть крыши сорвало, приток кислорода и чрезвычайно высокая температура реакторного топлива и графитового замедлителя вызвали графитовый пожар. Этот пожар явился значительным источником распространения радиоактивного материала и радиоактивного загрязнения даже отдаленных территорий.

Суммарный выброс радиоактивного материала составил приблизительно 14 млн. ТБк, включая 1,8 млн. ТБк ^{131}I , 85 000 ТБк ^{137}Cs и других радиоактивных изотопов цезия, 10 000 ТБк ^{90}Sr и целый ряд других изотопов со значительной активностью.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2.2. Активность выброса	Коэффициенты для радиологической эквивалентности ^{90}S и ^{137}Cs , определенные по таблице 2, равен 20 и 40 соответственно, таким образом суммарный выброс был радиологически эквивалентен 5,4 ТБк ^{131}I . Получается максимальная оценка на уровне 7, эквивалентный выбросу “нескольких десятков тысяч ТБк ^{131}I или более”. Хотя присутствуют и другие изотопы, нет необходимости включать их в расчеты, так как указанные изотопы уже эквивалентны выбросу на уровне 7.
2.3. Дозы, получаемые отдельными лицами	Необходимость рассматривать эти дозы нет, так как событие уже оценено на уровне 7.
Оценка воздействия на людей и окружающую среду	Уровень 7.

3. ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ И КОНТРОЛЬ НА УСТАНОВКАХ

3.1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

Руководящие указания данного раздела применяются только к событиям на имеющих официальное разрешение установках (объектах), у которых границы площадки четко определены при их лицензировании. Они применяются исключительно к крупным установкам, на которых потенциально (хотя и с малой долей вероятности) может произойти выброс радиоактивного материала, оцениваемый на уровне 5 или выше.

Все события требуется рассматривать с применением критериев воздействия на людей и окружающую среду, а также критериев воздействия на глубокоэшелонированную защиту, при этом то, что критерии этих двух типов позволяют охватить все вопросы, которые необходимо учитывать при классификации события, можно оспорить. Если это сделать, то тогда два ключевых типа событий не будут оцениваться уровнем, соответствующим их значимости.

Первый тип событий – это события, в случае которых происходит значительное повреждение первичных барьеров, предотвращающих крупный выброс (например, это может быть расплавление активной зоны реактора или потеря функции локализации очень больших количеств радиоактивного материала на ядерной установке по переработке топлива). При наступлении события такого типа, если происходит выход из строя проектных средств защиты, то единственными барьерами, предотвращающими очень большой выброс, являются сохранившиеся системы защитной оболочки. Без конкретных учитываемых критериев для рассмотрения такие события оценивались бы только уровнем 3 с точки зрения глубокоэшелонированной защиты, т.е. таким же уровнем, как и при “близком к аварии случае, когда не сохраняются средства резервирования”. Критерии для уровня 4 и уровня 5 предназначены конкретно для применения в этой ситуации.

Второй тип событий – это события, в случае которых первичные барьеры, предотвращающие крупный выброс, остаются неповрежденными, однако на установках, на которых имеются большие количества радиоактивного материала, происходит большая утечка радиоактивных материалов или значительное увеличение мощности дозы. Такие события могли бы вполне оцениваться уровнем 1 по воздействию на глубокоэшелонированную защиту вследствие того, что большое количество барьеров остается функционально работоспособным. Тем не менее эти события приводят к существенному сбою в управлении мерами контроля при обращении с радиоактивными материалами и,

следовательно, как таковые предполагают наличие риска, связанного с возникновением событий со значительным воздействием на людей и окружающую среду. Критерии для уровня 2 и уровня 3 предназначены конкретно для применения в случае этого второго типа событий.

Степень радиоактивного загрязнения определяется количеством распространившейся активности или величиной образующейся в результате мощности дозы. Эти критерии характеризуют мощность дозы в рабочей зоне, независимо от фактического присутствия в ней персонала. Их не следует путать с критериями для доз облучения персонала, изложенными в подразделе 2.3, которые относятся к фактически полученным дозам.

Уровни радиоактивного загрязнения ниже значения, соответствующего уровню 2, считаются незначительными для цели классификации события с применением данного критерия; на этих нижних уровнях необходимо учитывать только воздействие на глубокоэшелонированную защиту.

Действительные степень и характер повреждения и/или загрязнения могут быть не вполне ясны в какое-то время после аварии с последствиями такого рода. Однако можно провести широкую оценку и указать предварительную классификационную оценку в формуляре оценки события. Последующая переоценка последствий, возможно, потребует пересмотра этой оценки события.

Критерии, связанные с людьми и окружающей средой (Раздел 2) и глубокоэшелонированной защитой (Разделы 4, 5 и 6), также должны рассматриваться в случае всех событий, так как они могут привести к повышению классификационной оценки.

3.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЕЙ

Уровень 5

В случае событий, связанных с реакторным топливом (включая исследовательские реакторы):

“Событие, приводящее к расплавлению эквивалента более чем несколько процентов топлива в энергетическом реакторе или утечке⁹ более чем нескольких процентов загрузки активной зоны энергетического реактора из тепловыделяющих сборок.”¹⁰

⁹ Термин утечка используется здесь для описания выхода радиоактивного материала из своего нормального местонахождения, который, однако, все еще удерживается в пределах границ установки.

Определение базируется на учете общего количества топлива в активной зоне энергетического реактора, а не только свободных газообразных продуктов деления (“содержимого зазоров”). При такой утечке происходит выброс значительного количества топлива из топливной матрицы, а также продуктов деления из зазоров. Следует отметить, что классификация на основе повреждения топлива не зависит от состояния первого контура.

В случае исследовательских реакторов доля поврежденного топлива должна рассчитываться на основе параметров энергетического реактора мощностью 3000 МВт (тепл.).

В случае других установок:

“Событие, приводящее к крупному выбросу⁹ радиоактивного материала на установке (сопоставимому с выбросом из расплавленной активной зоны) с высокой вероятностью значительного переоблучения¹¹.”

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

Уровень 4

В случае событий, связанных с реакторным топливом (включая исследовательские реакторы):

“Событие, приводящее к выбросу⁹ более чем приблизительно 0,1% загрузки активной зоны энергетического реактора из тепловыделяющих сборок¹⁰, в результате плавления топлива и/или повреждения оболочек твэлов.”

И в этом случае определение базируется на учете общего количества топлива в активной зоне, а не только “содержимого зазоров” и не зависит от

¹⁰ Поскольку степень повреждения топлива легко не поддается измерению, энергопредприятия и регулирующие органы должны устанавливать предназначенные для данной установки критерии, выражаемые посредством симптомов (таких как концентрация активности в теплоносителе первого контура, данные радиационного мониторинга в защитной оболочке), для облегчения оперативной оценки событий, связанных с повреждением топлива.

¹¹ Под “высокой вероятностью” подразумевается вероятность, аналогичная той, которая возникает в случае выброса из защитной оболочки после аварии на реакторе.

состояния первого контура. Выброс свыше 0,1% суммарной загрузки активной зоны может иметь место, если происходит расплавление топлива с повреждением оболочек твэлов или повреждение значительной части (~10%) оболочек, в результате чего происходит выброс “содержимого зазоров”.

В случае исследовательских реакторов доля поврежденного топлива должна рассчитываться на основе параметров энергетического реактора мощностью 3000 МВт (тепл.).

Повреждение или ухудшение состояния (деградация) твэлов, которое не приводит к выбросу больше чем 0,1% загрузки активной зоны энергетического реактора (например, сильно локализованное расплавление или небольшое повреждение оболочек твэлов), следует оценивать как событие ниже шкалы/уровень 0 согласно данному критерию, а затем эти события следует рассматривать с применением критериев глубокоэшелонированной защиты.

В случае других установок:

“Событие, связанное с выбросом⁹ нескольких тысяч терабеккерелей активности их первичной защитной оболочки¹² с высокой вероятностью значительного переоблучения населения¹¹.”

Уровень 3

Событие, приводящее к выбросу⁹ нескольких тысяч терабеккерелей активности в зону, не предусмотренную проектом¹³, при котором требуется принятие корректирующих мер даже в случае очень малой вероятности значительного облучения населения.”

¹² В данном контексте термины “первичная” и “вторичная” оболочка означают оболочку, вмещающую радиоактивные материалы в неракторных установках, и их не следует путать с подобными терминами, означающими защитные (противоаварийные) оболочки реактора.

¹³ Зоны, не предусмотренные проектом, – это зоны в постоянных или временных сооружениях, где согласно проектным основам не предусматривается, что в данную зону в ходе эксплуатации или после инцидента может поступать радиоактивное загрязнение, что она может удерживать образовавшийся уровень радиоактивного загрязнения и предотвращать распространение радиоактивного загрязнения за пределы зоны. Примерами событий с радиоактивным загрязнением зон, не предусмотренных проектом, являются:

- загрязнение радиоактивным материалом тех участков за пределами специально контролируемых зон, где обычно такой материал отсутствует, например полы, лестничные марши, вспомогательные здания и складские площади;
- загрязнение плутонием или высокорадиоактивными продуктами деления участка, предназначенного и оборудованного только для операций с ураном.

или

“Событие, в результате которого суммарная мощность дозы гамма- и нейтронного облучения превышает 1 Зв/ч в рабочей зоне¹⁴ (мощность дозы измеряется на расстоянии 1 м от источника)”.

События, приводящие к высоким мощностям дозы в зонах, которые не считаются рабочими зонами, следует оценивать с использованием метода глубоководной защиты для установок (см. пример 49).

Уровень 2

“Событие, в результате которого суммарная мощность дозы гамма- и нейтронного облучения превышает 50 мЗв/ч в рабочей зоне (мощность дозы измеряется на расстоянии 1 м от источника)”.

или

“Событие, которое приводит к наличию значительных количеств радиоактивного материала на установке в зонах, не предусмотренных проектом для этой цели¹³, и требует принятия корректирующих мер.”

В данном контексте “значительное количество” следует интерпретировать как:

- a) утечку жидкого радиоактивного материала, радиологически эквивалентную активности порядка нескольких десятков терабеккерелей ⁹⁹Mo;
- b) выброс твердого радиоактивного материала в количестве, радиологически эквивалентном активности порядка нескольких терабеккерелей ¹³⁷Cs, если, кроме того, уровни поверхностного и аэрозольного загрязнения превышают в десять раз уровни, допустимые для рабочих зон;
- c) выброс аэрозольного радиоактивного вещества внутри здания в количестве, радиологически эквивалентном активности порядка нескольких десятков гигабеккерелей ¹³¹I.

¹⁴ Рабочие (обслуживаемые) зоны – это участки, куда разрешен доступ персоналу без специальных пропусков. К ним не относятся участки, в которых требуются специальные меры контроля (помимо общих требований в отношении использования индивидуального дозиметра и/или ношения комбинезона) ввиду уровня радиоактивного загрязнения или радиации.

3.3. РАСЧЕТ РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ

Коэффициенты-множители изотопов для определения радиологической эквивалентности радиоактивного загрязнения установки приведены в таблице 4. Фактическую активность в выбросе следует умножить на этот коэффициент, а затем сравнить ее с величинами, указанными в определениях каждого уровня для изотопа, используемого для сравнения. Если происходит выброс нескольких изотопов, то следует рассчитать и затем суммировать эквивалентную величину для каждого из них. Порядок расчета этих коэффициентов изложен в Дополнении I.

3.4. РАБОЧИЕ ПРИМЕРЫ

Приведенные примеры предназначены для иллюстрации руководящих указаний по классификации, содержащихся в данном разделе настоящего Руководства. Примеры основаны на реальных событиях, однако были немного изменены в целях иллюстрации использования различных аспектов руководящих указаний. В последней строке таблицы дается классификационная оценка на основе фактических последствий (т.е. с учетом критериев, изложенных в Разделах 2 и 3). Она не обязательно является конечной оценкой, так как необходимо будет рассмотреть критерии глубоководной защиты для определения конечной оценки.

Пример 8. Событие в лаборатории по изготовлению радиоактивных источников — событие ниже шкалы/уровень 0

Описание события

Событие произошло в лаборатории, в которой изготавливались ^{137}Cs -источники. В результате осуществления работ по реконструкции в другой части лабораторного здания возникли проблемы с поддержанием в лаборатории отрицательного давления. Это привело к аэрозольному загрязнению изотопом ^{137}Cs лаборатории и канала, связанного с лабораторией.

Событие привело к низким дозам (<1 мЗв) как для персонала, так и для населения. Измерения показали, что количество активности, распространившейся в пределах лаборатории, составило приблизительно 3-4 ГБк ^{137}Cs и что количество активности, поступившей в окружающую среду через вентиляционную систему, было равно приблизительно 1-10 ГБк.

ТАБЛИЦА 4. РАДИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ УСТАНОВКИ

Изотоп	Коэффициент для аэрозольного радиоактивного загрязнения на основе эквивалентности по ^{131}I	Коэффициент для твердого радиоактивного загрязнения на основе эквивалентности по ^{137}Cs	Коэффициент для жидкого радиоактивного загрязнения на основе эквивалентности по ^{99}Mo
Am-241	2000	4000	50 000
Co-60	2,0	3	30
Cs-134	0,9	1	20
Cs-137	0,6	1	12
H-3	0,002	0,003	0,03
I-131	1	2	20
Ir-192	0,4	0,7	9
Mn-54	0,1	0,2	2
Mo-99	0,05	0,08	1
P-32	0,3	0,4	5
Pu-239	3000	5000	57 000
Ru-106	3	5	60
Sr-90	7	11	140
Te-132	0,3	0,4	5
U-235(S) ^a	600	900	11 000
U-235(M) ^a	200	300	3000
U-235(F) ^a	50	90	1000
U-238(S) ^a	500	900	10 000
U-238(M) ^a	100	200	3000
U-238(F) ^a	50	100	1000
Уприр.	600	900	11 000
Инертные газы	Пренебрежимо мал (практически 0)	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.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2.2. Активность выброса	Согласно таблице 2, 1–10 ГБк ^{137}Cs радиологически эквивалентно 40–400 ГБк ^{131}I , что намного меньше значения для классификации в соответствии с критериями выброса “от десятков до сотен терабеккерелей ^{131}I ”.
2.3. Дозы, получаемые отдельными лицами	Все дозы меньше 1 мЗв, поэтому классификационная оценка на основе индивидуальных доз находится на уровне 0.
3.2. Радиологические барьеры и контроль	Согласно таблице 4, аэрозольный выброс 4 ГБк ^{137}Cs радиологически эквивалентен 2,4 ГБк ^{131}I , что намного меньше значения для классификации в соответствии с критерием распространения загрязнения “несколько десятков гигабеккерелей ^{131}I ”.
Классификационная оценка фактических последствий	Событие ниже шкалы/уровень 0

Пример 9. Повреждение твэлов в реакторе — событие ниже шкалы/уровень 0

Описание события

Во время эксплуатации реактора было обнаружено небольшое увеличение активности теплоносителя, что указывает на незначительное повреждение твэлов. Однако было принято решение, что при данном уровне допустимо продолжение эксплуатации реактора. Приняв к сведению информацию об активности теплоносителя реактора, оператор вывел реактор в режим останова на перегрузку, ожидая найти небольшое количество поврежденных твэлов среди загруженных 3400 твэлов. Проведенная инспекция, однако, показала, что были повреждены приблизительно 200 (6 % от общего количества) твэлов, однако расплавления твэлов или значительного выброса радиоактивных изотопов из топливной матрицы не произошло. Было установлено, что причиной этого стало наличие посторонней примеси в теплоносителе реактора, которая привела к местному перегреву твэлов.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2.2. Активность выброса	Критерий не применяется. Выброс отсутствует.
2.3. Дозы, получаемые отдельными лицами	Не применяется. Дозы отсутствуют.
3.2. Радиологические барьеры и контроль	Повреждение 6% твэлов приводит к утечке в теплоноситель приблизительно 0,06% топлива активной зоны. Это не превышает критерия для уровня 4, что дает классификационную оценку на уровне 0 на основе применения этого критерия.
Классификационная оценка фактических последствий	Событие ниже шкалы/уровень 0 (критерии глубокоэшелонированной защиты могут привести к повышению оценки).

Пример 10. Разлив загрязненной плутонием жидкости 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 ²³⁹Pu.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2.2. Активность выброса	Критерий не применяется.
2.3. Дозы, получаемые отдельными лицами	Разлив был в виде жидкости, и поэтому значительного облучения персонала не произошло.
3.2. Радиологические барьеры и контроль	Лаборатория не была рассчитана на удержание разлива. Значение для уровня 2 применительно к разливам определяется как радиологически эквивалентное десяти терабеккерелям ^{99}Mo . Из Раздела 3.3: $2,3 \text{ ГБк } ^{239}\text{Pu} \equiv 130 \text{ ТБк } ^{99}\text{Mo}$. В определении уровня 3 указана активность в несколько тысяч терабеккерелей, таким образом $2,3 \text{ ГБк}$ значительно ниже этого уровня.
Классификационная оценка фактических последствий	Уровень 2.

Пример 11. Поступление плутония в организм работников на установке по переработке плутония — уровень 2

Описание события

Четыре работника вошли в контролируемую зону облучения для выполнения работы, связанной с вентиляционной системой. Эта работа включала демонтаж узла (дефлектора) в помещении, расположенном в здании, где размещалась установка по переработке плутония. Данная установка не эксплуатировалась с 1957 года и оставалась недействующей, находясь в состоянии подготовки к снятию с эксплуатации.

Работники имели средства индивидуальной защиты и дозиметрического контроля. Резка короба дефлектора продолжалась в течение одного часа и 40 мин, и было видно как пыль осыпалась с короба. Когда они прекратили работу и покинули зону, индивидуальные дозиметры показали наличие радиоактивного загрязнения на одежде всех работников. Немедленно принятые меры включали ввод ограничений на работу подвергшегося облучению персонала и проведение оценки дозы методами биоанализа. Первоначальные оценки облучения составили эффективную дозу менее 11 мЗв. Впоследствии максимальные ожидаемые дозы данных лиц были оценены в интервале эффективной дозы от 24 до 55 мЗв. Годовой предел в то время составлял 50 мЗв.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2.2. Активность выброса	Критерий не применяется. Выбросы в окружающую среду отсутствуют.
2.3. Дозы, получаемые отдельными лицами	Один работник получил дозу, превышающую установленный годовой предел. Число людей, получивших такую дозу, было менее 10, таким образом классификационная оценка не повышается с учетом числа пострадавших людей. Классификационный уровень 2.
3.2. Радиологические барьеры и контроль	Радиоактивное загрязнение произошло во время работ по снятию с эксплуатации конкретного узла в зоне, которая была подготовлена к возможному радиоактивному загрязнению (т.е. в зоне, “предусмотренной проектом”). Поэтому критерии не применяются.
Классификационная оценка фактических последствий	Уровень 2.

Пример 12. Эвакуация в районе расположения ядерной установки — уровень 4

Описание события

Авария на атомной электростанции, при которой произошел перегрев топлива, привела к повреждению приблизительно половины стержневых твэлов и последующему выбросу радиоактивного материала. (Повреждение приблизительно половины твэлов без значительного расплавления топлива составляет выброс приблизительно 0,5% общего количества топлива в активной зоне.) Местная полиция в консультации с лицензиатом и регулирующим органом приняла решение экстренно эвакуировать людей в радиусе 2 км от установки, и в результате никто не получил дозы свыше 1 мЗв. Оценка выброса, проведенная экспертами на установке, позволила предположить, что суммарная активность составила приблизительно 20 ТБк, из которых приблизительно 10% приходится на ^{131}I , 5% – на ^{137}Cs и остальная активность – это инертные газы.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2.2. Активность выброса	Проведение эвакуации не учитывается при классификации события. Согласно таблице 2, 1 ТБк ^{137}Cs радиологически эквивалентен 40 ТБк ^{131}I , поэтому суммарный выброс радиологически эквивалентен 42 ТБк ^{131}I , что близко к значению для классификации в соответствии с критериями выброса на уровне 4 “от десятков до сотен терабеккерелей ^{131}I ”.
2.3. Дозы, получаемые отдельными лицами	Все дозы менее 1 мЗв, поэтому классификационная оценка на основе индивидуальных доз находится на уровне 0.
3.2. Радиологические барьеры и контроль	Выброс топлива достигает значения для уровня 4, “больше чем приблизительно 0,1% загрузки активной зоны энергетического реактора из тепловыделяющих сборок”, но меньше чем выброс согласно определению для уровня 5 “более чем несколько процентов загрузки активной зоны энергетического реактора топливныхборок тепловыделяющихборок”.
Классификационная оценка фактических последствий	Уровень 4.

Пример 13. Расплавление активной зоны реактора — уровень 5

Описание события

Случайно закрылась задвижка на линии конденсата, что привело к снижению расхода воды в парогенераторе. Через несколько секунд произошёл останов главных питательных насосов и турбины.

Согласно проекту запустились аварийные питательные насосы, но они не могли обеспечить подачу воды в парогенераторы, так как ряд задвижек этой системы остался в закрытом положении. Главные циркуляционные насосы реактора продолжали подавать воду к парогенераторам, однако без воды в парогенераторах тепло не могло отводиться от реактора вторым контуром.

Давление в системе охлаждения реактора возросло до уставки, при которой произошел останов реактора. В трубопроводе между компенсатором давления и барботажным баком открылся электроприводной клапан сброса давления; этот клапан не возвратился в закрытое положение и оператор не знал,

что он открыт, в результате чего продолжалось истечение пара в барботажный бак. Давление в системе охлаждения реактора снизилось. Разрывная мембрана барботажного бака разорвалась, и пар стал выходить в помещение защитной гермооболочки. Снижение давления в системе теплоносителя в конечном итоге привело к тому, что вода в верхней части реактора (приблизительно на уровне 3-5 м выше топлива) превращалась в пар.

Операторы отключили аварийные водяные насосы, так как они считали, что в компенсаторе давления все еще имеется вода. Они также отключили насосы системы охлаждения реактора (первого контура), поскольку опасались возникновения повреждений из-за возможной чрезмерной вибрации. Это привело к образованию парового пространства в контуре теплоносителя реактора. Кроме того, в верхней части реактора над топливом образовалась паровая подушка. В конечном итоге по мере нагрева топлива эта подушка расширилась, материал оболочки твэлов стал перегреваться и свыше 10% топлива расплавилось. Система защитной гермооболочки осталась неповрежденной.

В конце концов была осуществлена подпитка системы охлаждения реактора (первого контура), и охлаждение реактора стало стабильным.

Исследования показали, что выброс на площадке был небольшим, и максимальный возможный уровень облучения за пределами площадки объекта составил эффективную дозу 0,8 мЗв. Дозы, полученные персоналом, были значительно ниже годовых установленных пределов.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2.2. Активность выброса	Подробные данные отсутствуют, однако на основании малых доз можно заключить, что уровень выброса в окружающую среду был на несколько порядков ниже значения для уровня 4.
2.3. Дозы, получаемые отдельными лицами	Дозы для населения составили менее 1 мЗв, а дозы, получаемые персоналом, не достигли установленного предела годовой дозы.
3.2. Радиологические барьеры и контроль	Произошло расплавление больше чем нескольких процентов активной зоны, что дает классификационную оценку на уровне 5.
Классификационная оценка фактических последствий	Уровень 5.

4. ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННУЮ ЗАЩИТУ В СЛУЧАЕ СОБЫТИЙ, СВЯЗАННЫХ С ТРАНСПОРТИРОВКОЙ И ИСТОЧНИКАМИ ИЗЛУЧЕНИЯ

Данный раздел Руководства посвящен событиям, в случае которых “фактические последствия” отсутствуют, однако происходит отказ некоторых средств обеспечения безопасности. Целенаправленное включение в конструкцию множественных средств или барьеров называется “глубокоэшелонированной защитой”. В Приложении I даны более подробные сведения о концепции глубокоэшелонированной защиты, в частности применительно к крупным установкам.

Руководящие материалы, представленные в данном разделе, предназначены для практической деятельности, связанной с источниками излучения и транспортировкой (перевозкой) радиоактивных материалов. Указания, касающиеся ускорителей и установок, связанных с изготовлением и распределением радионуклидов или использованием источника категории I, приводятся в Разделе 6.

Безопасность населения и персонала во время транспортировки и использования источников излучения обеспечивается правильным проектированием, хорошо управляемой эксплуатацией, административными мерами контроля и комплексом систем защиты (например, блокировками, сигнализацией и физическими барьерами). При проектировании средств обеспечения безопасности применяется концепция глубокоэшелонированной защиты, допускающая возможность отказа оборудования, ошибок человека и незапланированного развития событий.

Глубокоэшелонированная защита, таким образом, представляет собой совокупность консервативного проектирования, обеспечения качества, контроля, мер по смягчению последствий и общей культуры безопасности, укрепляющей все другие средства.

Методология классификации по шкале ИНЕС учитывает количество средств обеспечения безопасности, сохраняющих свою функциональную работоспособность при наступлении события, а также потенциальные последствия в случае, если происходит отказ всех средств обеспечения безопасности.

Наряду с учетом этих факторов в методологии оценки по шкале ИНЕС также учитываются “дополнительные факторы” (т.е. те аспекты события, которые могут указывать на более серьезное ухудшение управления или мер контроля за операциями, связанными с событием).

Данная часть Руководства состоит из трех основных подразделов. В первом (подразделе 4.1) излагаются общие принципы оценки событий по их воздействию на глубокоэшелонированную защиту. Они должны охватывать широкий круг событий различного типа, и поэтому носят общий характер. Для обеспечения последовательного и согласованного применения общих правил в подразделе 4.2 даются более подробные указания. В третьем подразделе (подраздел 4.3) приведен ряд рабочих примеров.

4.1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ КЛАССИФИКАЦИОННОЙ ОЦЕНКИ СОБЫТИЙ

Хотя в шкале ИНЕС предусмотрено три уровня для воздействия на глубокоэшелонированную защиту, для некоторых видов практической деятельности максимально возможные последствия, даже в случае отказа всех средств обеспечения безопасности, ограничены имеющимся количеством радиоактивного материала и механизмом выброса (утечки). Представляется нецелесообразным оценивать события, связанные с обеспечением глубокоэшелонированной защиты в случае таких видов практической деятельности, по наивысшему уровню для глубокоэшелонированной защиты. Если максимально возможные последствия для конкретной практической деятельности не могут быть оценены по шкале выше уровня 4, то максимальная оценка по глубокоэшелонированной защите соответствует уровню 2. Аналогичным образом, если максимально возможные последствия не могут быть оценены выше уровня 2, то максимальная оценка по глубокоэшелонированной защите соответствует уровню 1.

После определения верхнего предельного уровня классификации по глубокоэшелонированной защите необходимо выяснить, какие средства обеспечения безопасности сохраняют свою функциональную работоспособность (т.е. какие дополнительные отказы средств обеспечения безопасности должны произойти, чтобы возникли максимально возможные последствия для данного вида практической деятельности). Сюда входит рассмотрение инженерно-технических систем и административных средств для предупреждения, контроля и смягчения последствий, включая пассивные и активные барьеры. Следует также учитывать возможные недостатки в культуре безопасности, которые проявляются в оцениваемом событии и могут повышать вероятность возникновения максимально возможных последствий события.

Таким образом, процедура оценки состоит из следующих этапов:

- 1) определяется верхний предельный уровень классификационной оценки по глубокоэшелонированной защите, исходя из максимально возможных последствий соответствующих видов практической деятельности, на

основе критериев, изложенных в Разделах 2 и 3 настоящего Руководства. Детальные указания по определению максимально возможных последствий приведены в подразделе 4.2.1;

- 2) далее определяется фактическая классификационная оценка:
 - а) во-первых, исходя из числа и эффективности имеющихся средств обеспечения безопасности (инженерно-технических систем и административных средств) для предупреждения, контроля и смягчения последствий, включая пассивные и активные барьеры;
 - б) во-вторых, исходя из связанных с культурой безопасности аспектов события, которые могут указывать на более серьезную деградацию средств обеспечения безопасности или организационных условий.

Детальные указания по этим двум аспектам процесса классификации событий приведены в подразделе 4.2.

Наряду с рассмотрением по состоянию глубокоэшелонированной защиты каждое событие должно также рассматриваться в соответствии с критериями, изложенными в Разделах 2 и 3 (если это применимо).

4.2. ПОДРОБНЫЕ УКАЗАНИЯ ПО КЛАССИФИКАЦИОННОЙ ОЦЕНКЕ СОБЫТИЙ

4.2.1. Определение максимально возможных последствий

Максимально возможные последствия определяются с учетом категории источника на основе активности источника (А) и значения D-величины для данного источника, при этом следует руководствоваться публикацией “Категоризации радиоактивных источников” МАГАТЭ [1] и вспомогательным справочным материалом к ней [5]. Максимально возможные последствия не зависят от детальных обстоятельств фактического события. D-величины представляют уровень активности, выше которого источник считается “опасным” и потенциально может привести к тяжелым детерминированным эффектам, если не обеспечивать безопасное и надежное обращение с ним. D-величины, указанные в руководстве по безопасности [1] для наиболее распространенных изотопов, приводятся в Дополнении III. Если необходимы D-величины для других изотопов, их можно найти во вспомогательной справочном материале [5].

В таблице 5 представлены оценки максимально возможных последствий (в случае отказа всех средств обеспечения безопасности) в зависимости от величины A/D-отношения и категории источника. В ней также указаны максимальные оценки по воздействию на глубокоэшелонированную защиту для

ТАБЛИЦА 5. ОЦЕНКИ МАКСИМАЛЬНО ВОЗМОЖНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ И ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННУЮ ЗАЩИТУ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ A/D-ОТНОШЕНИЯ И КАТЕГОРИИ ИСТОЧНИКА

A/D-отношение	$0,01 \leq A/D < 1$	$1 \leq A/D < 10$	$10 \leq A/D < 1000$	$1000 \leq A/D$
Категория источника	Категория 4	Категория 3	Категория 2	Категория 1
Оценка максимально возможных последствий для практической деятельности в случае отказа всех средств обеспечения безопасности	2	3	4	5 ^a
Максимальная оценка с использованием критериев глубокоэшелонированной защиты	1	2	2	3

^a Более высокие уровни не считаются заслуживающими доверия в случае событий связанных с радиоактивными источниками.

каждой категории источников в соответствии с общими принципами классификации событий, изложенными выше. Фактическая классификационная оценка будет равна или меньше уровня, указанного в нижней строке данной таблицы, в случае применения указаний по оценке, приведенных в подразделе 4.2.2.

Поскольку максимальная оценка по воздействию на глубокоэшелонированную защиту одинакова для источников категорий 2 и 3, они рассматриваются вместе в остальной части данного подраздела.

Значения D-величин не применяются к облученному ядерному топливу. Однако события, связанные с транспортировкой облученного ядерного топлива, следует оценивать, применяя указания, изложенные в подразделе 4.2.2 для источников категории 1.

Как указывалось ранее, классификационная оценка событий на ускорителях выполняется с применением указаний, содержащихся в Разделе 6. В случае других источников, являющихся установками, применяются указания данного подраздела. Однако простого метода категоризации источников, являющихся установками, на основе их размеров и т.п. не существует. Поэтому необходимо применять общие принципы использования ИНЕС. В случае установок, на которых никакое событие не может привести к каким-либо детерминированным эффектам даже при отказе всех средств обеспечения безопасности, события следует оценивать, применяя указания, изложенные в

подразделе 4.2.2 для источников категории 4. В случае же установок, на которых детерминированные эффекты могут возникать при отказе всех средств обеспечения безопасности, события следует оценивать, применяя указания, изложенные в подразделе 4.2.2 для источников категории 2 и 3.

Источники категории 5 не отражены в таблице 5, и они не включены в таблицы оценки, представленные в подразделе 4.2.2. В публикации МАГАТЭ “Категоризация радиоактивных источников” [1] разъясняется, что источники категории 5 не могут приводить к причинению непоправимого увечья людям. Таким образом, события, связанные с отказом средств обеспечения безопасности в случае таких источников, должны оцениваться только как события ниже шкалы/уровень 0 или на уровне 1 по воздействию на глубокоэшелонированную защиту. Некоторые простые указания в отношении выбора оценки “ниже шкалы/уровень 0” или “уровень 1” даны во введении к подразделу 4.2.2.

В случае, когда событие связано с несколькими источниками или несколькими транспортными упаковками, необходимо принимать решение относительно учета активности одного предмета или суммарной активности упаковок/источников. Если при условии снижения требований безопасности воздействию могут подвергнуться все предметы (например, в случае пожара), то тогда следует учитывать суммарную активность. Если же при условии снижения требований безопасности воздействию может подвергнуться только один предмет (например, в случае неправильной маркировки одной транспортной упаковки), учитываемой активностью должна быть активность упаковки, подвергающейся воздействию. В Дополнении III излагается методология вычисления совокупного (агрегированного) значения D-величины.

С целью охвата широкого диапазона возможных событий, рассматриваемых в настоящем Руководстве, следует соблюдать изложенные ниже указания, которые позволяют учитывать максимально возможные последствия при оценке события:

- Если активность известна, следует определить значение A/D-отношения путем деления активности (A) радионуклида на D-величину. Полученное значение A/D-отношения следует сравнить с диапазонами значений A/D-отношения в таблице 5 и определить соответствующую категорию.
- Если фактическая активность не известна (например, в случае неопознанного источника, найденного в металлоломе), активность следует оценить, исходя из известной или измеренной мощности дозы и идентификации радионуклида. Затем следует определить категорию на основе A/D-отношения.
- Если же фактическая активность не известна и результаты измерения мощности дозы отсутствуют, категорию источника следует определять на

основе любых имеющихся данных об использовании источника. В Дополнении IV приводятся примеры различного использования источников с указанием и их вероятной категории.

- В случае событий, связанных с упаковками, содержащими делящийся материал (который не является “делящимся-освобожденным” согласно определению в Правилах перевозки [6]):
 - если воздействию подвергаются средства обеспечения безопасности, необходимые для предотвращения возникновения критичности, событие следует оценивать так, как будто бы упаковка является источником категории 1;
 - если происходит отказ средства обеспечения безопасности, не связанного с обеспечением безопасности по критичности, в случае необлученного топлива классификационную оценку следует определять на основе фактической активности с применением A/D-отношения. В случае облученного топлива, как правило, следует пользоваться колонкой для источников категории 1, несмотря на то что фактическое значение A/D-отношения может быть рассчитано и использоваться, если количество облученного материала чрезвычайно мало.

4.2.2. Классификационная оценка с учетом эффективности средств обеспечения безопасности

В следующих ниже подразделах даны указания по оценке событий различного типа, связанных с деградацией средств обеспечения безопасности. Подраздел 4.2.2.2 посвящен событиям, связанным с потерей или обнаружением радиоактивных источников, устройств или транспортных упаковок, подраздел 4.2.2.3 – событиям, при которых происходит деградация (ухудшение состояния) предусмотренных средств обеспечения безопасности, а подраздел 4.2.2.4 – другим связанным с безопасностью событиям.

Во всех случаях, когда имеется выбор из нескольких классификационных оценок, рассмотрению подлежат основные последствия, связанные с культурой безопасности. В связи с этим дальнейшие указания по этому вопросу приводятся в подразделе 4.2.2.1. В некоторых случаях, когда имеется выбор из нескольких классификационных оценок, необходимо также рассматривать другие факторы, и в сносках даны указания в отношении конкретных факторов, которые следует учитывать.

События, связанные с источниками категории 5, не рассматриваются в следующих ниже подразделах, так как они, как правило, оцениваются как события ниже шкалы/уровень 0. Однако классификационная оценка на уровне 1 будет правильной, если все предусмотренные средства обеспечения

безопасности были утрачены или имеются свидетельства существенных недостатков в культуре безопасности. Когда обеспечение особых мер контроля в месте нахождения источников категории 5 не предусматривается, их утерю следует оценивать только как событие ниже шкалы/уровень 0.

4.2.2.1. Учет последствий, связанных с культурой безопасности

Культура безопасности определяется как “набор характеристик и особенностей деятельности организаций и поведения отдельных лиц, который устанавливает, что проблемам защиты и безопасности, как обладающим высшим приоритетом, уделяется внимание, определяемое их значимостью” [7]. Высокая культура безопасности помогает предупредить инциденты, а с другой стороны, ее отсутствие или недостатки в ней могут привести к тому, что персонал будет действовать не так, как предусмотрено проектом. Поэтому культуру безопасности нужно рассматривать как составную часть глубокоэшелонированной защиты.

Для повышения оценки вследствие недостаточной культуры безопасности событие должно рассматриваться как реальный показатель недостатков в культуре безопасности. Примерами таких показателей могут быть:

- нарушение разрешенных (нормативно установленных) пределов или требований, а также нарушение процедуры без предварительного утверждения;
- недостатки в процессе обеспечения качества;
- накопление человеческих ошибок;
- несоблюдение надлежащего контроля за радиоактивными материалами, включая выбросы в окружающую среду, распространение радиоактивного загрязнения или нарушение в системах дозиметрического контроля; или
- повторение события, свидетельствующее о том, что оператор надлежащим образом не извлек соответствующие уроки или не принял корректирующих мер после первого подобного события.

Важно отметить, что указания настоящего раздела не преследуют цель инициировать длительный и детальный анализ, они позволяют учесть экспертные оценки, которые могут быть оперативно сделаны лицами, классифицирующими данное событие. Часто трудно сразу же после события определить необходимость повышения классификационной оценки события из-за недостаточной культуры безопасности. В этом случае следует давать предварительную классификационную оценку на основе того, что известно на данный момент времени, а в конечной оценке впоследствии может быть учтена

дополнительная информация, касающаяся культуры безопасности, которая появится в результате детального исследования.

4.2.2.2. События, связанные с утерянным или обнаруженным радиоактивным источником/устройством

Таблицу 6 следует использовать для событий, связанных с радиоактивными источниками, устройствами и транспортными упаковками, которые были помещены в ненадлежащее место, утеряны, похищены или найдены. Если местонахождение источника, устройства или транспортной упаковки не может быть установлено, то этот предмет на первом этапе может считаться “пропавшим”. Если, однако, поиск в вероятных других местах нахождения не дает результатов, его следует считать утерянным или похищенным, в соответствии с национальными требованиями.

Утерю радиоактивного источника, устройства или транспортной упаковки следует оценивать с учетом деградации глубокоэшелонированной защиты. В случае последующего обнаружения радиоактивного источника, устройства или транспортной упаковки раннее выявленную утерю и последовавшее за ней обнаружение соответствующего предмета следует рассматривать как единичное событие. Первоначальную классификационную оценку в этом случае следует пересмотреть, и на основе появившейся дополнительной информации можно провести переоценку события (в сторону повышения или понижения оценки). Соответствующие вопросы, которые следует рассматривать, включают:

- место, в котором были обнаружены источник, устройство или транспортная упаковка, и обстоятельства того, как они туда попали;
- состояние источника, устройства или транспортной упаковки;
- продолжительность времени, в течение которого источник, устройство или транспортная упаковка были утерянными;
- число облученных лиц и возможные дозы, полученные ими.

Пересмотренная классификационная оценка должна учитывать как первоначальную оценку воздействия на глубокоэшелонированную защиту, так и фактические последствия. В большинстве случаев необходимо оценивать или рассчитывать возможные полученные дозы с учетом реалистических предположений, а не наихудших сценариев.

В таблице 6 обнаруженные радиоактивные источники и обнаруженные устройства сведены в одну графу. Под обнаруженными радиоактивными источниками подразумеваются источники, не имеющие защиты. Под обнаруженными устройствами понимаются найденные бесхозные источники, по-прежнему находящиеся в неповрежденном защитном контейнере.

ТАБЛИЦА 6. ОЦЕНКА СОБЫТИЙ, СВЯЗАННЫХ С УТЕРЯННЫМИ ИЛИ ОБНАРУЖЕННЫМИ РАДИОАКТИВНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ, УСТРОЙСТВАМИ ИЛИ ТРАНСПОРТНЫМИ УПАКОВКАМИ

Тип событий	Оценка событий в зависимости от категории источника		
	Кат. 4	Кат. 3 или кат. 2	Кат. 1
Пропавшие радиоактивные источники, устройства или транспортные упаковки, впоследствии найденные неповрежденными в пределах контролируемой зоны	1	1	1
Обнаруженные источники, устройства (в том числе бесхозные источники и устройства) или транспортные упаковки	1	1 или 2 (сноска а)	2 или 3 (сноска а)
Утерянные или похищенные радиоактивные источники, устройства или транспортные упаковки, остающиеся пока ненайденными	1	2	3
Утерянные или похищенные радиоактивные источники, устройства или транспортные упаковки, местонахождение которых было впоследствии установлено с подтверждением того, что непланируемого облучения не было, и при этом было принято и одобрено решение не извлекать источник, так как он находится в безопасном или недоступном месте (например, под водой)	1	1	1
Неправильно доставленная транспортная упаковка, но в месте ее получения обеспечиваются все процедуры радиационной безопасности, выполнение которых требуется при обращении с данной упаковкой	0 или 1	1	1
Неправильно доставленная транспортная упаковка, но в месте ее получения обеспечиваются не все процедуры радиационной безопасности, выполнение которых требуется при обращении с данной упаковкой	1	1 или 2 (сноска b)	2 или 3 (сноска b)

^a В случае, когда выясняется, что некоторые средства обеспечения безопасности остаются работоспособными (например, это может быть сочетание защиты, запорных устройств и предупредительных знаков), более правильной является наименьшая предлагаемая оценка.

^b Более правильной может быть более низкая оценка, если на установке предусмотрены надлежащие процедуры обеспечения радиационной безопасности.

Имеется множество примеров утерянных или обнаруженных бесхозных источников, поступивших в качестве сырья для вторичной переработки металлов. Вследствие этого торговцы металлом и сталеплавильщики начинают во все более широких масштабах устанавливать оборудование для контроля поступающих партий металлолома на наличие таких источников. Наиболее правильная классификационная оценка таких событий получается при использовании графы “обнаруженный бесхозный источник” таблицы 6. Если источник был расплавлен, то применяется более высокая оценка. Если же источник обнаруживается до плавления, то классификационная оценка будет зависеть от наличия оставшихся работоспособными средств обеспечения безопасности, как это поясняется в сноске “1”.

В случае событий, связанных с загрязненным радиоактивностью металлом, иногда практически не возможно идентифицировать категорию источника на основе указаний, изложенных в подразделе 4.2.1. В этих случаях следует измерять мощность дозы и делать оценки доз облучения, полученных людьми в соответствующей зоне. Затем на основе этих возможных доз определяется классификационная оценка.

4.2.2.3. События, связанные с деградацией средств обеспечения безопасности

Таблицу 7 следует применять к событиям, в случае которых источник излучения, устройство или транспортная упаковка находятся в месте, в котором они должны быть, однако при этом произошла деградация средств обеспечения безопасности. В их число входят различные конструкционные средства, такие как транспортная упаковка или корпус источника, другие системы защиты или защитной оболочки, блокировки или другие устройства обеспечения безопасности/предупредительной сигнализации. К этим средствам также относятся средства административного контроля, такие как маркировка транспортных упаковок, транспортная документация, рабочие и аварийные процедуры, радиологический контроль и применение индивидуальных дозиметров с сигнализацией. Установки, такие как излучатели с источником категории 1, телетерапевтические установки или линейные ускорители, как правило, имеют высокоинтегральные средства глубоководной защиты. Как отмечается во введении к Разделу 4, события, связанные с деградацией средств обеспечения безопасности на таких установках, следует оценивать с применением указаний Раздела 6.

ТАБЛИЦА 7. ОЦЕНКА СОБЫТИЙ, СВЯЗАННЫХ С ДЕГРАДАЦИЕЙ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ¹⁵

Тип событий	Оценка событий в зависимости от категории источника		
	Кат. 4	Кат. 3 или кат. 2	Кат. 1
А. События без деградации средств обеспечения безопасности			
Несмотря на возможное возникновение нештатной ситуации, это событие не имеет значимости с точки зрения эффективности предусмотренных средств обеспечения безопасности.			
К типичным событиям относятся:			
— поверхностное повреждение защиты и/или контейнеров с источником, протечка из источника, приводящая к незначительному поверхностному радиоактивному загрязнению и разливу с небольшим радиоактивным заражением людей;	1	1	1
— поверхностное повреждение защиты и/или контейнеров с источником, протечка из источника, приводящая к незначительному поверхностному радиоактивному загрязнению и разливу с необычным уровнем радиоактивного заражения, имеющим небольшую или нулевую радиологическую значимость;	0 или 1	0 или 1	0 или 1
— радиоактивное загрязнение в зонах, в которых проектом обеспечивается способность выдерживать воздействие таких событий;	0 или 1	0 или 1	0 или 1

¹⁵ Когда имеется выбор из нескольких оценок, значимым фактором является наличие последствий, связанных с культурой безопасности, как указано в подразделе 4.2.2.1.

ТАБЛИЦА 7. ОЦЕНКА СОБЫТИЙ, СВЯЗАННЫХ С ДЕГРАДАЦИЕЙ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ¹⁵ (продолж.)

Тип событий	Оценка событий в зависимости от категории источника		
	Кат. 4	Кат. 3 или кат. 2	Кат. 1
— предвидимые события, в случае которых процедуры обеспечения безопасности являются эффективными и предотвращают непланируемое облучение и возврат условий к нормальному состоянию. В число этих событий могут входить такие события, как невозврат открытых источников (например, гамма-источника для промышленной радиографии или источника для брахитерапии), при условии, что они были возвращены на место безопасным образом в соответствии с существующими аварийными процедурами;	0 или 1	0 или 1	0 или 1
— повреждение транспортной упаковки отсутствует или имеет незначительный характер, увеличения мощности дозы не отмечается	0 или 1	0 или 1	0 или 1
В. Средства обеспечения безопасности частично сохранились			
Произошел отказ (по любой причине) одного или нескольких средств обеспечения безопасности, однако по меньшей мере одно средство обеспечения безопасности сохранилось.			
К типичным событиям относятся:			
— отказ части установленной системы предупреждения или обеспечения безопасности, предназначенной для предотвращения облучения с высокой мощностью дозы;	0 или 1 (сноска а)	1 или 2 (сноска а)	(сноска б)
— невыполнение процедур обеспечения безопасности (в том числе радиационного мониторинга и проверок безопасности), при котором другие имеющиеся средства обеспечения безопасности (инженерно-технические) остаются работоспособными;	0 или 1 (сноска а)	1 или 2 (сноска а)	(сноска б)

ТАБЛИЦА 7. ОЦЕНКА СОБЫТИЙ, СВЯЗАННЫХ С ДЕГРАДАЦИЕЙ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ¹⁵ (продолж.)

Тип событий	Оценка событий в зависимости от категории источника		
	Кат. 4	Кат. 3 или кат. 2	Кат. 1
— существенная деградация систем защитной оболочки или дефектная герметизация;	0 или 1 (сноска а)	1 или 2 (сноска а)	(сноска б)
— дефектная упаковка или дефектное крепление. Неэффективно функционирующие устройства, указывающее на вмешательство	0 или 1 (сноска с)	0 или 1 (сноска с)	0 или 1 (сноска с)
С. Средства обеспечения безопасности не сохранились			
События, характеризующиеся существенным потенциалом непланируемого облучения или создающие существенный риск распространения радиоактивного загрязнения в зонах, в которых меры контроля отсутствуют. К типичным событиям относятся:			
— потеря защиты (например, вследствие пожара или серьезного ущерба, в результате которого становится возможным прямым облучение от источника);	1	1 или 2 (сноска d)	2 или 3 (сноска е)
— отказ предупредительных и предохранительных устройств, при котором становится возможным вход в зоны с высокими мощностями дозы;	1	1 или 2 (сноска d)	2 или 3 (сноска е)
— отказ средств контроля уровней излучения, при котором другие средства обеспечения безопасности не сохранились или все другие средства обеспечения безопасности, вышли из строя (например, не в состоянии проверить, что гамма-источники полностью убираются после локальной экспозиции при выполнении радиографического контроля);	1	1 или 2 (сноска d)	2 или 3 (сноска е)
— события, в случае которых источник остается случайно открытым, при этом отсутствуют эффективные процедуры, позволяющие исправить ситуацию, или когда такие процедуры игнорируются;	1	1 или 2 (сноска d)	2 или 3 (сноска е)

ТАБЛИЦА 7. ОЦЕНКА СОБЫТИЙ, СВЯЗАННЫХ С ДЕГРАДАЦИЕЙ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ¹⁵ (продолж.)

Тип событий	Оценка событий в зависимости от категории источника		
	Кат. 4	Кат. 3 или кат. 2	Кат. 1
— упаковка, у которой обнаружено нарушение или отсутствие защиты, при этом существует значительный потенциал облучения	1	1 или 2 (сноска d)	2 или 3 (сноска e)

^a Правильной может быть более низкая классификационная оценка, если сохраняется ряд средств обеспечения безопасности и существенные последствия, связанные с культурой безопасности, отсутствуют. Если же сохраняется по существу только один эшелон безопасности, следует применять более высокую оценку.

^b Оценку событий, связанных с частичной деградацией средств обеспечения безопасности, в случае источников категории 1, смонтированных в установках, следует проводить с применением метода эшелонов безопасности, изложенного в Разделе 6. Другие события, связанные с источниками категории 1, следует оценивать уровнем 1 или 2, при этом более низкая классификационная оценка будет более правильной, если сохраняется ряд средств обеспечения безопасности и существенные последствия, связанные с культурой безопасности, отсутствуют.

^c Правильной будет более высокая оценка, за исключением случаев, когда уровень деградации является очень низким.

^d Максимально возможные последствия в случае источника категории 3, смонтированного стационарно в установке, не могут превышать уровень 2. Поэтому для событий на таких установках максимальную оценку по воздействию на глубокоэшелонированную защиту следует определять на уровне 1.

^e Уровень 3 будет правильным только в случае, когда максимально возможные последствия могут превысить уровень 4. Установки, в которых используются источники категории 1, следует оценивать с применением указаний, изложенных в Разделе 6. Согласно этим указаниям, классификационная оценка на уровне 3 может быть дана только в случае потенциальной возможности рассеивания (диспергирования) радиоактивного материала. Если событие связано только с деградацией средств обеспечения безопасности, предотвращающих переоблучение персонала, классификационная оценка, согласно этим указаниям, будет на уровне 2.

4.2.2.4. Другие события, связанные с безопасностью

Таблицу 8 следует применять в случае других событий, связанных с безопасностью, на которые не распространяются предыдущие таблицы.

ТАБЛИЦА 8. ОЦЕНКА ДРУГИХ СВЯЗАННЫХ С БЕЗОПАСНОСТЬЮ СОБЫТИЙ¹⁶

Тип событий	Оценка событий в зависимости от категории источника			
	Кат. 4	Кат. 3 или кат. 2	Кат. 1	Кат. 1
В результате единичного события лицо из населения получает дозу, превышающую установленные пределы годовой дозы.	1	1	1	1
Работники или лица из населения получают суммарные дозы облучения, превышающие установленные пределы годовой дозы	1	1	1	1
Отсутствие регистрационных записей, таких как инвентарные списки источников, схемы организации дозиметрии, или наличие серьезных пробелов в них	1	1	1	1
Выбросы в окружающую среду, превышающие разрешенные пределы	1	1	1	1
Несоблюдение условий лицензии при транспортировке	1	1	1	1
Неадекватный радиологический контроль транспорта	0 или 1 (сноска а)	0 или 1 (сноска а)	0 или 1 (сноска а)	0 или 1 (сноска а)
Радиоактивное загрязнение на упаковках/перевозочном средств, при этом радиоактивное заражение имеет небольшую или нулевую радиологическую значимость	0 или 1	0 или 1	0 или 1	0 или 1

¹⁶ Когда имеется выбор из нескольких оценок, значимым фактором является наличие последствий, связанных с культурой безопасности, как указано в подразделе 4.2.2.1.

ТАБЛИЦА 8. ОЦЕНКА ДРУГИХ СВЯЗАННЫХ С БЕЗОПАСНОСТЬЮ СОБЫТИЙ¹⁶ (продолж.)

Тип событий	Оценка событий в зависимости от категории источника			
	Кат. 4	Кат. 3 или кат. 2	кат. 2	Кат. 1
Радиоактивное загрязнение на упаковках/перевозочном средстве, при этом измерения указывают на чрезмерное радиоактивное заражение, превышающее установленные пределы, и существует потенциальная возможность заражения населения	1	1		1
Неправильные или отсутствуют транспортные документы, этикетки на упаковке или предупредительные знаки транспортного средства. Неправильная или отсутствует маркировка на упаковках	0 или 1	0 или 1		0 или 1
Наличие радиоактивного материала в предположительно пустой упаковке	1	1 или 2 (сноска b) ¹		1,2 или 3 (сноска b)
Радиоактивный материал помещен в упаковочный комплект неправильного или несоответствующего типа	0 или 1	1 или 2 (сноска c)		2 или 3 (сноска c)

^a При определении классификационной оценки следует принимать во внимание степень неадекватности контроля, а также любые последствия, связанные с культурой безопасности.

^b При выборе классификационной оценки следует учитывать наличие средств обеспечения безопасности даже несмотря на то, что упаковка должна была быть пустой.

^c Более высокая классификационная оценка в каждой категории отражает ситуацию, в случае которой можно с достаточным основанием предположить, что неправильный или несоответствующий упаковочный комплект способен привести к непреднамеренному облучению.

4.3. РАБОЧИЕ ПРИМЕРЫ

Пример 14. Открепление и возврат в исходное положение промышленного радиографического источника — событие ниже шкалы/уровень 0

Описание события

На нефтехимическом предприятии выполнялась работа по промышленному радиографическому контролю с применением ¹⁹²Ir-источника

активностью 1 ТБк. В процессе работы произошло открепление источника в открытом положении. Это было обнаружено, когда рентгенолог вошел в данную зону с контрольным прибором. Барьеры контролируемой зоны были проверены и оставлены на месте, и была запрошена помощь от национальных компетентных учреждений. Эти учреждения вместе со специалистами по радиографии спланировали операцию по возврату источника в исходное положение. Спустя двенадцать часов после обнаружения наступившего события источник был успешно возвращен на место. Дозы, полученные (тремя лицами) в результате данного события, включая возврат источника в исходное положение, не превысили 1 мЗв.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2.3. Дозы, получаемые отдельными лицами	Полученные дозы были ниже значения для уровня 1.
4.2.1. Максимально возможные последствия	D-величина для ^{192}Ir составляет 0,08 ТБк; таким образом, A/D-отношение равно 12 (что соответствует источнику категории 2).
4.2.2. Эффективность средств обеспечения безопасности	Это – предвидимое событие в промышленной радиографии, и должны быть наготове планы чрезвычайных мер и соответствующее оборудование для действий в случае таких событий. Контроль, выполненный рентгенологом, также был эффективен. На основе четвертого подпункта пункта А в таблице 7 “предвидимые события, в случае которых процедуры обеспечения безопасности являются эффективными и предотвращают непланируемое облучение и возврат условий к нормальному состоянию”, классификационная оценка может быть “событие ниже шкалы/уровень 0” или на уровне 1. В данном случае выбирается оценка “событие ниже шкалы/уровень 0” ввиду отсутствия признаков наличия недостатков в обеспечении культуры безопасности.
Общая оценка	Событие ниже шкалы/уровень 0

Пример 15. Сход с рельсов поезда с грузом отработавшего топлива — событие ниже шкалы/уровень 0

Описание события

Поезд с тремя вагонами, в каждом из которых находился контейнер с отработавшим топливом, сошел с рельсов на скорости 28 км/ч. Рельс сломался в момент прохождения по нему поезда. Два из сошедших с рельсов железнодорожных вагонов остались в вертикальном положении, а третий накренился, и необходимо было установить его в устойчивое положение. Спустя 36 ч вагоны продолжили свое движение. Радиологические последствия отсутствовали.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2.3. Дозы, получаемые отдельными лицами	Зарегистрированные дозы отсутствовали.
4.2.1. Максимально возможные последствия	Оценку применительно к контейнерам с отработавшим топливом следует проводить с применением указаний для источников категории 1.
4.2.2. Эффективность средств обеспечения безопасности	На основе пятого подпункта пункта А в таблице 7 “повреждение транспортной упаковки отсутствует или имеет незначительный характер, увеличения мощности дозы не отмечается” классификационная оценка может быть “событие ниже шкалы/уровень 0” или на уровне 1. В данном случае выбирается оценка “событие ниже шкалы/уровень 0” ввиду отсутствия признаков наличия недостатков в обеспечении культуры безопасности.
Общая оценка	Событие ниже шкалы/уровень 0

Пример 16. Упаковка повреждена вилочным погрузчиком — событие ниже шкалы/уровень 0

Описание события

Упаковка типа А, согласно рапортам, получила повреждение в аэропорту. На основании первых рапортов можно было предположить, что упаковка была лишь слегка повреждена колесом автопогрузчика. Грузоотправителя попросили оценить величину повреждения упаковки и определить, что следует сделать с

ней. Грузоотправитель смог переупаковывать содержимое (два ^{252}Cf -источника активностью 1,98 МБк каждый), с тем чтобы можно было продолжить работу с упаковкой. С помощью соответствующего оборудования удалось также сформировать транспортный контейнер для упаковки типа А и вернуть ее в пункт отправления. Было подтверждено, что первоначальный внешний упаковочный комплект получил минимальное повреждение.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2.3. Дозы, получаемые отдельными лицами	Полученные дозы были ниже значения для уровня 1.
4.2.1. Максимально возможные последствия	Значение D для ^{252}Cf составляет 0,02 ТБк, и отношение A/D < 0,01. Таким образом, получается, что упаковка содержит источники категории 5.
4.2.2. Эффективность средств обеспечения безопасности	Деградации средств обеспечения безопасности не произошло. Согласно введению подраздела 4.2.2, получается классификационная оценка – событие ниже шкалы/уровень 0.
Общая оценка	Событие ниже шкалы/уровень 0.

Пример 17. Похищен промышленный радиографический источник — уровень 1

Описание события

Согласно сообщению, поступившему в национальный компетентный орган, было похищено устройство для промышленной радиографии, содержащее ^{192}Ir -источник активностью 4 ТБк. Был выпущен пресс-релиз, а также проведено обследование прилегающей местности. Спустя 24 ч устройство было найдено в канаве рядом с автомагистралью без повреждения защиты в абсолютно нетронутом состоянии. Люди, согласно сделанным выводам, не подвергались облучению.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2.3. Дозы, получаемые отдельными лицами	Доз облучения в результате данного события или выброса активности не было.
4.2.1. Максимально возможные последствия	D-величина для ^{192}Ir составляет 0,08 ТБк; таким образом, A/D-отношение равно 50 (что соответствует источнику категории 2).
4.2.2. Эффективность средств обеспечения безопасности	Первоначальное событие – это утерянный или похищенный источник категории 2, что, согласно третьей графе таблицы 6, соответствует классификационной оценке на уровне 2. Когда устройство было найдено, стал возможен пересмотр оценки. Так как устройство было найдено, и при этом все средства обеспечения безопасности сохранились и не было признаков вмешательства в эти средства, согласно второй графе таблицы 6 правильной является конечная оценка на уровне 1.
Общая оценка	Уровень 1.

Пример 18. Различные радиоактивные источники, обнаруженные в металлоломе — уровень 1

Описание события

Регулирующий орган был уведомлен компанией по переработке металлолома, что на portalном детекторе был получен сигнал радиационной опасности. Используя переносное контрольное оборудование, представитель регулирующего органа измерил повышенный уровень излучения на поверхности 12-метрового контейнера, который был равен 30 мкЗв/ч. Контейнер был разгружен фирмой, специализирующейся на поиске и возвращении в безопасные условия радиоактивных источников, находящихся в отходах и металлоломе. Были обнаружены три одинаковых корпуса из нержавеющей стали, в каждом из которых находился ^{137}Cs -источник, но без блока заслонки. На двух корпусах источников была идентификационная маркировка, которая позволила установить, что это – ^{137}Cs -источники активностью 2 ГБк и 8 ГБк. Мощность дозы на поверхности трех корпусов источников была равна приблизительно 4,5, 4,2 и 17 мЗв/ч, и активность этих источников составляла приблизительно 1,85 ГБк, 1,85 ГБк и 7,4 ГБк. Контейнер находился в пути в течение почти одного месяца, но место происхождения этих

трех источников не могло быть установлено. Источники были доставлены с обеспечением безопасности и сохранности на соответствующую установку по обработке радиоактивных отходов.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2.3. Дозы, получаемые отдельными лицами	Если рассматривать возможные дозы, полученные во время транспортировки и обращения с этими источниками, то не представляется достоверным, что могли быть получены дозы свыше 10 мЗв или что десять или более человек могли облучиться (это соответствует уровню 1).
4.2.1. Максимально возможные последствия	Известно, что двумя источниками был ^{137}Cs , и на основе измерений мощностей дозы и активности, было установлено, что третий источник был аналогичен менее мощному из двух идентифицированных источников. D-величина для ^{137}Cs составляет 1×10^{-1} ТБк, и суммарная активность источников была равна 11,1 ГБк; таким образом, A/D-отношение составляет $0,01 \leq A/D < 1$. Поэтому источник был отнесен к категории 4.
4.2.2. Эффективность средств обеспечения безопасности	Событием было обнаружение трех бесхозных источников. Из второй графы таблицы 6 следует, что надлежит выбрать уровень 1.
Общая оценка	Уровень 1.

Пример 19. Утерян плотномер — уровень 1

Описание события

Был утрачен влагомер/плотномер, который, как полагали, был похищен из грузовика на строительной площадке. Прибор содержал ^{137}Cs -источник (0,47 ГБк) и нейтронный Am-241/Be-источник (1,6 ГБк). Об инциденте было сообщено национальным компетентным органам, был выпущен пресс-релиз и было проведено обследование прилегающей местности. Измерительный прибор был возвращен несколько дней спустя без признаков повреждения.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2.3. Дозы, получаемые отдельными лицами	Доз облучения в результате данного события не было.
4.2.1. Максимально возможные последствия	Необходимо рассчитать совокупное (агрегированное) значение A/D-отношения, как поясняется в Дополнении III. D-величина для ^{137}Cs составляет 0,1 ТБк при активности источника 0,47 ГБк, и D-величина для $^{241}\text{Am/Be}$ равна 0,06 ТБк при активности источника 1,6 ГБк; следовательно, совокупное значение A/D-отношения равно $0,47/100 + 1,6/60 = 0,031$. Таким образом, совокупное значение A/D-отношения находится в интервале между 0,01 и 1, и источнику может быть присвоена категория 4.
4.2.2. Эффективность средств обеспечения безопасности	Из второй графы таблицы 6 следует, что надлежит выбрать уровень 1. Возвращение прибора позволило провести переоценку события как “утраченный или похищенный радиоактивный источник, местонахождение которого было впоследствии установлено” (четвертая графа), при которой оценка для источника категории 4 остается на уровне 1.
Общая оценка	Уровень 1.

Пример 20. Похищен радиоактивный источник во время перевозки — уровень 1

Описание события

Когда упаковка с закрытым ^{60}Co -источником активностью 1,85 ГБк была доставлена грузоотправителем, выяснилось, что она пустая. Через семь часов источник был обнаружен в автофургоне. Упаковка была вскрыта. ^{60}Co с активностью 1,85 ГБк дает мощность дозы 0,5 мЗв/ч на расстоянии 1 м.

Вяяснилось, что данное событие – это прямой результат нарушения правил перевозки радиоактивных материалов:

- предохранительная пломба, требуемая регулирующими правилами, не была прикреплена к упаковке;
- транспортная декларация не была оформлена; и

— знак “Радиоактивно”, по-видимому, не был прикреплен к контейнеру (хотя окончательно это выяснено не было).

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2.3. Дозы, получаемые отдельными лицами	На основе опроса персонала и рассмотрения вероятных сценариев того, что могло произойти с источником, была выполнена оценка доз. Был сделан вывод о том, что ни водитель, ни персонал, участвовавший в доставке источника, не получили доз, поддающихся измерению.
4.2.1. Максимально возможные последствия	D-величина для ^{60}Co составляет 0,03 ТБк; таким образом, значение A/D-отношения будет в интервале от 0,01 до 1, что соответствует источнику категории 4.
4.2.2. Эффективность средств обеспечения безопасности	На основе пятого подпункта пункта С таблицы 7 “упаковка, у которой обнаружено нарушение или отсутствие защиты, при этом существует значительный потенциал облучения” классификационная оценка соответствует уровню 1.
Общая оценка	Уровень 1.

Пример 21. Разлив радиоактивного материала в отделении ядерной медицины — уровень 1

Описание события

В больнице случилось столкновение с тележкой, на которой перевозились изотопы из хранилища радиофармацевтических препаратов до процедурной для введения препаратов/терапии. Инцидент произошел в коридоре больницы, и одна доза ^{131}I (4 ГБк в жидкой форме) была пролита на пол. Два человека (медсестра и пациент) получили заражение (руки, наружная одежда и обувь), каждый от предполагаемой активности 10 МБк ^{131}I . Был вызван персонал из отделения ядерной медицины, и дезактивация этих двух человек была проведена в течение часа после инцидента.

Оцененные дозы двух человек, пострадавших в результате данного инцидента, были минимальными (ожидаемая эффективная доза менее 0,5 мЗв). Зона разлива была временно закрыта на две недели (что эквивалентно двум периодам полураспада) и затем успешно дезактивирована персоналом отделения ядерной медицины.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2.3. Дозы, получаемые отдельными лицами	Полученные дозы были ниже значения для уровня 1.
3.2. Радиологические барьеры и контроль	Критерий не применяется, так как в данном месте не осуществляется работа с большими количествами радиоактивного материала (см. первый пункт подраздела 3.1).
4.2.1. Максимально возможные последствия	D-величина для ^{131}I составляет 0,2 ТБк; таким образом, значение A/D-отношения будет в интервале от 0,01 до 1, что соответствует источнику категории 4.
4.2.2. Эффективность средств обеспечения безопасности	Поскольку контейнер с источником был разрушен, средства обеспечения безопасности не сохранились, и следует применить пункт С таблицы 7, что дает классификационную оценку на уровне 1.
Конечная оценка	Уровень 1.

Пример 22. Столкновение и наезд поезда на упаковки радиоактивного материала — уровень 1

Описание события

Поезд столкнулся с багажным фургоном, пересекавшим на станции железнодорожную линию.

Среди багажа были упаковки типа А. Было семь коробок, содержащих ряд радионуклидов, и два контейнера, в каждый из которых был помещен генератор технеция (с применением молибдена) с активностью 15 ГБк (30 ГБк в начале перевозки).

Легкие картонные коробки получили лишь очень небольшие повреждения, и радиоактивный материал остался в них. Однако два контейнера вылетели из упаковок, и один контейнер с источником разрушился, что привело к радиоактивному загрязнению кабины локомотива и гравия железнодорожного пути. Был обследован 291 человек на предмет радиоактивного заражения, и в 19 случаях получены положительные результаты, которые не были признаны существенными. Все полученные дозы составили менее 0,1 мЗв. Данное радиоактивное заражение не могло быть причиной для беспокойства ввиду малых количеств и коротких периодов полураспада присутствовавших радиоизотопов.

Было применено значительное количество средств обеззараживания. Два железнодорожных пути были закрыты в течение суток, и локомотив был подвергнут дезактивации.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2.3. Дозы, получаемые отдельными лицами	Полученные дозы были ниже значения для уровня 1.
4.2.1. Максимально возможные последствия	D-величина для ^{99}Mo составляет 300 ГБк (включая дочерний продукт Tc); таким образом, значение A/D-отношения будет в интервале от 0,01 до 1, что соответствует источникам категории 4.
4.2.2. Эффективность средств обеспечения безопасности	Поскольку контейнер с источником был разрушен, средства обеспечения безопасности не сохранились, и следует применить пункт C таблицы 7, что дает классификационную оценку на уровне 1.
Конечная оценка	Уровень 1.

Пример 23. Предположительно пустые транспортные контейнеры содержали ядерный материал — уровень 1

Описание события

Завод по изготовлению топлива обычно получает из-за границы оксид урана, слегка обогащенный ураном-235. Материал транспортируют в специальных канистрах, плотно закрытых в морском контейнере. После изъятия материала изготовитель топлива отправляет пустые канистры назад поставщику.

По получении контейнера со 150 канистрами, которые должны были быть пустыми, поставщик оксида урана обнаружил, что две канистры были фактически полными и содержали в общей сложности 100 кг оксида урана. Предполагаемая активность материала была равна 8 ГБк. Было установлено, что наружные поверхности канистр и морского контейнера чистые. Персонал или население не получили никаких непредвиденных доз в результате данного события.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2.3. Дозы, получаемые отдельными лицами	Получения доз облучения в результате данного события установлено не было.
4.2.1. Максимально возможные последствия	Вопрос критичности не возникает в этом случае вследствие низкой степени обогащения, и поэтому данное событие следует оценивать на основе A/D. (См. последний пункт подраздела 4.2.1). D-величина не указана в Дополнении III, но приводится в [5]. При обогащении менее 10%, как это имеет место в данном случае, значение D-величины будет настолько большим, что его можно считать неограниченным. Следовательно, $A/D < 0,01$, и это означает, что материал можно отнести к источникам категории 5.
4.2.2. Эффективность средств обеспечения безопасности	Упаковочный комплект для пустых канистр был таким же, как в случае, если бы они были полными (механическое уплотнение, а также контейнерные условия), однако требования к маркировке при перевозке были менее жесткими, и меры предосторожности при обращении с грузом были несколько снижены. Ключевой момент состоит в том, что были превышены разрешенные пределы. Выявлены существенные проблемы в культуре безопасности в связи с данным событием, и произошел отказ некоторых из предусмотренных средств обеспечения безопасности. Поэтому согласно третьему пункту подраздела 4.2.2 событие оценивается уровнем 1.
Конечная оценка	Уровень 1.

Пример 24. Подозрительное показание пленочного дозиметра — уровень 1

Описание события

Годовой уровень суммарного облучения техника-радиолога, по показаниям пленочного дозиметра, составил 95 мЗв. Это было обнаружено в ходе проверки больницы, в которой работал этот техник. Регулирующий орган тщательно изучил обстановку в больнице и обнаружил в одном месяце зарегистрированную дозу данного лица, равную 54 мЗв. Однако в больнице никаких специальных мер до проведения проверки предпринято не было. В

больнице нет генераторов излучения, таких как линейный ускоритель, и явной причины однократного переоблучения установлено не было. Возможно, что это переоблучение было сфальсифицировано коллегой, но никаких прямых доказательств этого найдено не было. Медицинское обследование, которое включало анализ крови, не выявило отклонений от нормы. У обследуемого лица также не было обнаружено никаких признаков наличия детерминированных эффектов. Данная сотрудница была переведена в другое отделение и прошла дополнительный курс обучения. Исходя из наихудшего предположения, что доза была реальной, ей также был закрыт доступ в контролируемые зоны.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2.3. Дозы, получаемые отдельными лицами	<p>Детерминированные эффекты для здоровья техника установлены не были. Анализы крови показали, что серьезных доз получено не было, однако при этом не возможно было доказать факт отсутствия радиационного облучения. В целях определения наличия или отсутствия радиационного облучения было проведено детальное расследование.</p> <p>При расследовании было учтено следующее:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) отсутствие мощных источников излучения на обычном рабочем месте сотрудницы или в местах, в которых она могла находиться в период после выдачи ей дозиметра; 2) у коллег, которые всегда находились рядом с сотрудницей во время возможных периодов облучения, дозиметры имели нормальные показания; 3) показания дополнительных дозиметров, которые использовались в течение данного периода времени. <p>В конечном итоге был сделан вывод, что рассматриваемая сотрудница не получила дозы облучения и что данные о дозе следует удалить из журнала учета.</p>

4.2.1. Максимально возможные последствия Критерий не применяется.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
4.2.2. Эффективность средств обеспечения безопасности	Хотя событие не было связано с получением реальной дозы, в данном случае следует учесть другие факторы, такие как отсутствие контроля записей в журнале учета индивидуальных доз облучения персонала, а также мер по выяснению причин появления дозиметрических показаний, отличающихся от нормальных. Согласно третьей графе таблицы 8 событие оценивается уровнем 1.
Конечная оценка	Уровень 1.

Пример 25. Переплавка бесхозного источника — уровень 2

Описание события

Бесхозный ^{137}Cs -источник активностью 1 ТБк, случайно попавший в металлолом, был переплавлен на сталеплавильном заводе. Пятьдесят работников завода получили дозу, оцененную как 0,3 мЗв в каждом случае.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2.2. Выход активности	Согласно оценке, в результате расплавления произошел выход 10% активности, что привело к выбросу аэрозольной активности 0,1 ТБк ^{137}Cs . D_2 -величина для ^{137}Cs составляет 0,1 ТБк, таким образом, выход активности был гораздо меньше, чем критерий для уровня 5 “активность, более чем в 2500 раз превышающая значение D_2 -величины” (подраздел 2.2.2).
2.3. Дозы, получаемые отдельными лицами	Полученные дозы были ниже значения для уровня 1.
4.2.1. Максимально возможные последствия	D -величина для ^{137}Cs составляет 1×10^{-1} ТБк, и активность источника была равна 1 ТБк; таким образом, значение A/D -отношения будет в интервале $1000 > A/D \geq 10$. Поэтому источник был отнесен к категории 2.
4.2.2. Эффективность средств обеспечения безопасности	Согласно второй графе таблицы 6, классификационная оценка должна быть на уровне 1 или 2. С учетом того, что источник был переплавлен, конечную оценку следует поставить на уровне 2, руководствуясь сноской “а” таблицы 6.
Конечная оценка	Уровень 2.

Пример 26. Утерян высокоактивный источник радиотерапевтической установки — уровень 3

Описание события

Инвентаризационная проверка источников в больнице, которая была закрыта на некоторое время, установила, что отсутствует головка телерапевтического аппарата, содержащая ^{60}Co -источник активностью 100 ТБк. Этот узел хранился в специально отведенном месте, однако в течение нескольких недель инвентаризационная проверка не проводилась. Возникло подозрение, что не имеющие соответствующего разрешения лица вынесли данный узел из больницы. В результате проведенного поиска через сутки источник был найден на открытой местности в двух километрах от лечебного учреждения. Головка была разобрана, защита источника нарушена, но сам

источник взломан не был. Источник был возвращен на место национальными компетентными органами.

Проведенное впоследствии расследование позволило установить, что в результате данного события облучению подверглись несколько человек:

- один человек – руки 20 Гр, эффективная доза 500 мЗв. Вследствие лучевого поражения одной руки потребовалось применение кожных трансплантатов и была произведена ампутация одного пальца;
- два человека – руки 2 Гр, эффективная доза 400 мЗв;
- двенадцать человек – эффективная доза 100 мЗв. (Установленный предел годовой дозы облучения всего тела для работников составляет 20 мЗв.)

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2.3. Дозы, получаемые отдельными лицами	Три человека получили дозы, превышающие более чем в десять раз установленный предел годовой дозы облучения всего тела для работников. У одного из этих трех человек отмечено воздействие на здоровье. С учетом этих двух аспектов получается классификационная оценка на уровне 3. Двенадцать человек получили дозы свыше 10 мЗв. Согласно полученной дозе, классификационная оценка будет на уровне 2, при этом ее следует повысить до уровня 3, учитывая число человек, подвергшихся облучению.
4.2.1. Максимально возможные последствия	D-величина для ^{60}Co составляет 0,03 ТБк; таким образом, значение A/D-отношения превышает 1000 (что соответствует источнику/устройству категории 1).
4.2.2. Эффективность средств обеспечения безопасности	Начальная оценка была сделана до обнаружения источника. Таким образом, данное событие – это утерянный или похищенный источник/устройство. Согласно таблице 6, событие оценивается уровнем 3.
Конечная оценка	Уровень 3.

5. ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННУЮ ЗАЩИТУ В СЛУЧАЕ СОБЫТИЙ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕАКТОРАХ ПРИ РАБОТЕ НА МОЩНОСТИ

Данный раздел Руководства посвящен событиям, в случае которых “фактические последствия” отсутствуют, однако происходит отказ некоторых средств обеспечения безопасности. Целенаправленное включение в конструкцию множественных средств или барьеров называется “глубокоэшелонированной защитой”.

Здесь не приводится детальное объяснение концепции глубокоэшелонированной защиты, поскольку с ней знакомо большинство тех, кто будет применять настоящее Руководство в случае событий на реакторах при работе на мощности. Тем не менее в Приложении I дан некоторый дополнительный справочный материал.

Данный раздел предназначен, в частности, для оценки событий на реакторах при работе на мощности, но его следует также применять при оценке событий, произошедших в режиме “горячего” останова или пуска, поскольку в этом случае обоснование безопасности аналогично тому, которое действует при работе на мощности. Однако, если реактор находится в режиме “холодного” останова, когда по-прежнему требуется, чтобы функционировали некоторые системы безопасности, гарантирующие работоспособность функций безопасности, обычно в распоряжении имеется больше времени. Кроме того, в условиях останова конфигурация барьеров иногда бывает совершенно другой (например, открытый первый контур, открытая защитная оболочка). В силу этих причин для оценки событий предлагается иной подход; события во время останова реактора следует, как правило, оценивать, используя указания, изложенные в Разделе 6. Однако, если действующее обоснование безопасности данной установки основано на методе исходных событий и систем безопасности, допускается возможность использования описанного в данном разделе метода исходных событий при оценке событий.

События на реакторах, которые находятся в процессе снятия с эксплуатации, когда топливо выгружено из реактора, а также события на исследовательских реакторах следует оценивать, также используя Раздел 6 в целях надлежащего учета всего спектра максимально возможных последствий и принципов проектирования.

Конечно, на одной и той же площадке может осуществляться ряд различных видов практической деятельности, и в данном контексте каждый вид практической деятельности должен рассматриваться в отдельности. Например,

эксплуатацию реактора, работу с горячими камерами и хранение отходов следует рассматривать как отдельные виды практической деятельности, хотя все они могут осуществляться на одной площадке. Оценку событий, связанных с горячими камерами или хранением отходов, следует оценивать, используя указания, изложенные в Разделе 6. Данный раздел Руководства предназначен конкретно для оценки событий, связанных с эксплуатацией энергетических реакторов.

Подход к классификации основывается на оценке вероятности развития события в аварию, при этом не следует непосредственно использовать вероятностные методы, а нужно рассматривать, потребовалось ли действие средств обеспечения безопасности, и какие дополнительные их отказы могли бы привести к аварии. Таким образом “базовый уровень классификации” определяется, исходя из числа и эффективности имеющихся средств обеспечения безопасности (инженерно-технических систем и административных средств) для предупреждения, контроля и смягчения последствий, включая пассивные и активные барьеры.

С целью учета основных “дополнительных факторов” следует рассматривать также возможное повышение “базового уровня классификации”. Такое повышение уровня позволяет учитывать аспекты события, которые могут свидетельствовать о более глубоком ухудшении состояния объекта или организационных условий на объекте. К рассматриваемым факторам относятся отказы по общей причине процедурные несоответствия и недостатки в культуре безопасности. Эти факторы могут не входить в базовую оценку и могут указывать на то, что значимость события с точки зрения глубокоэшелонированной защиты выше, чем было принято при определении базового уровня классификации. Следовательно, для правильного информирования о действительной значимости события следует учитывать повышение оценки на одну ступень.

Другие два раздела, касающиеся глубокоэшелонированной защиты, содержат указания, касающиеся “максимально возможных последствий” событий. Этот аспект, однако, нет необходимости рассматривать в данном разделе, поскольку количество топлива в энергетическом реакторе таково, что в случае отказа всех средств обеспечения безопасности возможна авария, классифицируемая на уровне 5 и выше. Максимальная оценка по воздействию на глубокоэшелонированную защиту поэтому составляет уровень 3.

Данная часть Руководства состоит из трех основных подразделов. Первый содержит указания по оценке базового уровня классификации событий на реакторе при работе на мощности (“метод исходных событий”). Второй подраздел (подраздел 5.2) содержит указания, касающиеся повышения оценки события. В подразделе 5.3 приведен ряд рабочих примеров.

5.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ БАЗОВОГО УРОВНЯ КЛАССИФИКАЦИИ С УЧЕТОМ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

Поскольку анализ безопасности реакторных установок во время их работы на мощности проводится в соответствии с общепринятой международной практикой, вполне можно дать более конкретные указания о том, как оценивать средства обеспечения безопасности в случае событий, связанных с реакторами при работе на мощности. Данный подход основывается на рассмотрении исходных событий, функций безопасности и систем безопасности. Эти понятия поясняются ниже, хотя они должны быть хорошо знакомы тем, кто принимает участие в подготовке анализа безопасности.

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

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

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

В обоих случаях уровень работоспособности систем безопасности обеспечивает готовность функции безопасности в целом, при этом следует отметить, что несколько систем безопасности могут обеспечивать одну функцию безопасности. Уровень работоспособности функции безопасности играет важную роль в определении классификационной оценки.

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

Во втором случае не происходит реального отклонения от нормальной эксплуатации, но обнаруженная деградация функции безопасности могла бы привести к существенным последствиям, если бы действительно произошло одно из исходных событий, для которых предназначены деградировавшие системы безопасности. В этом случае оценка события также 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. (См. подразделы 5.1.3 и 5.1.4, а также пример 35.)

Для иллюстрации указанных выше принципов можно рассмотреть реактор, у которого защита от потери внешнего энергоснабжения обеспечивается четырьмя дизель-генераторами. В случае аварии событие должно поставить под угрозу безопасность реактора (в данном примере, в результате потери внешнего электроснабжения), при этом должен произойти отказ защиты (в данном примере, не происходит запуск всех дизель-генераторов). Начальное воздействие на безопасность станции (потеря внешнего электроснабжения в данном примере) называется “исходным событием”, а реакция дизель-генераторов определяется как “работоспособность функции безопасности” (охлаждение после останова реактора в данном примере). Таким образом, чтобы авария произошла, необходимо иметь исходное событие и неадекватную работоспособность функции безопасности.

Оценка по воздействию на глубокошелонированную защиту позволяет выяснить, насколько близка была данная ситуация к аварии (т.е. произошло ли исходное событие, насколько вероятным оно было и какова была работоспособность функций безопасности). В приведенном примере, если бы внешнее электроснабжение отключилось, однако все дизель-генераторы запустились бы, как предусматривалось проектом, авария была бы маловероятной (такое событие имело бы оценку “событие ниже шкалы/уровень 0”). Аналогичным образом, если бы один дизель-генератор не запустился при проведении испытания, а другие сработали нормально и внешнее энергоснабжение обеспечивалось, авария была бы маловероятной (в этом случае также такое событие имело бы оценку “событие ниже шкалы/уровень 0”).

Однако, если во время эксплуатации на мощности будет обнаружено, что все дизель-генераторы были в состоянии неготовности в течение месяца, то тогда даже при условии, что внешнее электроснабжение обеспечивалось и запуск дизель-генераторов не требовался, авария будет считаться довольно вероятной, поскольку вероятность потери внешнего электроснабжения относительно высока (такое событие будет, по-видимому, оценено уровнем 3 при условии отсутствия других средств обеспечения безопасности).

Процедура оценки поэтому позволяет выяснить, требовалось ли срабатывание функций безопасности (т.е. произошло ли исходное событие),

какова была допускаемая вероятность исходного события и какова была работоспособность соответствующих функций безопасности.

Основной подход к классификации событий заключается в определении частоты (вероятности) соответствующих исходных событий и работоспособности соответствующих функций безопасности. Затем используются две таблицы, чтобы получить базовый уровень классификации (базовую классификационную оценку) (см. подразделы 5.1.3 и 5.1.4). Детальные указания по каждому аспекту классификации приводятся ниже.

5.1.1. 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 (т.е. $> 10^{-2}/\text{год}$).
- 2) *Возможные*
Исходные события, которые не “ожидаются”, но их предполагаемая частота (f) за время жизненного цикла установки превышает уровень около 1% (т.е. $10^{-4} < f < 10^{-2}/\text{год}$).
- 3) *Маловероятные*
Исходные события, рассматриваемые в проекте установки, которые менее вероятны, чем предыдущие ($\leq 10^{-4}/\text{год}$).
- 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 неодинаковости, как меры защиты от проектных исходных событий.

Для каждого реактора в обосновании его безопасности предусматриваются отдельные перечни и классификация исходных событий, и их следует использовать при оценке событий. Типичные примеры проектных исходных событий, которые в прошлом использовались для различных реакторных систем, приведены в Приложении II с подразделением на применявшиеся ранее категории частоты (вероятности). Они могут служить в качестве справочного материала применительно к процессу оценки, однако важно во всех случаях, когда это возможно, применять исходные события и данные о частоте, конкретно относящиеся к установке, на которой произошло событие.

Малые нарушения, которые устраняются системами управления (а не относящимися к безопасности системами), не включаются в число исходных событий. Однако, если системы управления не в состоянии стабилизировать состояние реактора, в конечном итоге такая ситуация может перерасти в исходное событие. По этой причине исходное событие может не совпадать с тем происшествием, с которого началось рассматриваемое событие (см. пример 36); напротив, несколько различных цепочек (последовательностей) событий часто могут группироваться, проистекая от одного исходного события.

В случае многих событий (происшествий) необходимо рассматривать более чем одно исходное событие, каждое из которых классифицируется определенным уровнем по шкале. В таком случае данное событие в целом оценивается наибольшим из уровней, которые связаны с каждым исходным событием в отдельности. Например, исходным событием, требующим действия защиты, может быть резкое увеличение мощности реактора. Последовавшее за этим успешное срабатывание системы защиты может привести к останову реактора. Тогда быстрый останов реактора следует рассматривать как исходное событие, требующее действия функции охлаждения топлива.

5.1.2. Работоспособность функции безопасности

Эксплуатация реактора поддерживается тремя основными функциями безопасности:

- 1) управление реактивностью;
- 2) охлаждение топлива; и
- 3) локализация (удержание) радиоактивного материала.

Выполнение этих функций обеспечивается пассивными системами (такими, как физические барьеры) и активными системами (такими, как система защиты реактора). Функция безопасности может выполняться несколькими системами безопасности и даже в случае неработоспособности одной системы. При наступлении исходного события не относящиеся к безопасности системы также могут способствовать выполнению конкретной функции безопасности (см. пояснение к определению “достаточная“ (С). С другой стороны, для выполнения функций безопасности требуются вспомогательные системы, такие как энергоснабжение, охлаждение, питание контрольно-измерительных приборов. При оценке событий важно рассматривать работоспособность (готовность) функции безопасности, а не работоспособность индивидуальной системы. Система или элемент 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 работоспособны все элементы систем безопасности, предназначенных для выполнения данной функции, до состояния, когда готовность для выполнения данной функции безопасности недостаточна. При оценке событий рассматриваются четыре степени работоспособности (готовности).

А. Полная

Все системы безопасности и элементы, которые предусмотрены проектом на случай конкретного исходного события в целях ограничения его последствий, полностью работоспособны (т.е. обеспечиваются резервирование и неодинаковость).

В. Минимально требуемая эксплуатационными пределами и условиями

Минимальный уровень работоспособности каждой из систем безопасности, которые должны обеспечивать требуемую функцию безопасности, при котором работа на мощности может продолжаться (по возможности в течение ограниченного времени), как это определено в эксплуатационных пределах и условиях.

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 в случае некоторых конкретных исходных событий может сохраняться резервирование и неодинаковость (разнородность).

С. Достаточная

Уровень работоспособности по меньшей мере одной из систем безопасности, которые должны обеспечивать требуемую функцию безопасности, достаточный для выполнения конкретной функции безопасности при рассматриваемом исходном событии.

В некоторых случаях категории В и С могут быть одинаковыми (т.е. работоспособность будет недостаточной за исключением случаев, когда все системы безопасности будут отвечать требованиям ЭПУ). В других

случаях категория С будет соответствовать уровню работоспособности ниже требуемого ЭПУ. Например, если предусмотрены неодинаковые (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 короткого периода времени, когда функция безопасности, хотя и не соответствует ЭПУ, но еще обеспечивается. (Например, функция безопасности “охлаждение топлива” может быть обеспечена, если полное обесточивание станции происходит только на очень короткое время). При оценке эффективности таких средств важно учитывать имеющееся в распоряжении время, а также время, требующееся для определения и осуществления соответствующих корректирующих мер.

Возможно также, что функция безопасности может быть *достаточной* благодаря работоспособности не относящихся к безопасности систем (см. пример 40). Не относящиеся к безопасности системы можно принимать во внимание, если имеется подтверждение (или известно), что они были работоспособными во время события. Однако при включении в оценку не относящихся к безопасности систем необходимо проявлять осторожность, так как их работоспособность обычно не контролируется и проверяется так, как это делается в случае систем безопасности.

D. Недостаточная

Работоспособность систем безопасности такова, что функция безопасности ни одной из них не может быть выполнена при рассматриваемом исходном событии.

Следует отметить, что если категории С и D охватывают некоторые диапазоны состояний установки, то категории А и В представляют определенные степени работоспособности. Следовательно, фактическая работоспособность может находиться между уровнями А и В (т.е. она может быть меньше, чем *полная*, но больше той, которая минимально допустима для дальнейшей работы на мощности). Об этом говорится в подразделе 5.1.3.

5.1.3. Оценка базового уровня классификации событий-происшествий с реальным исходным событием

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 данным подразделом; в противном случае – подразделом 5.1.4. В некоторых случаях придется рассматривать событие, применяя указания обоих подразделов, если исходное событие произошло и при этом выявило пониженную готовность функции, не затребованной реальным исходным событием (например, если при быстром останове реактора без потери внешнего энергоснабжения обнаружена пониженная работоспособность дизель-генераторов).

Для событий, включающих в себя потенциальные отказы, которые могут привести к исходному событию (например, обнаружение конструкционных дефектов или небольших течей, остановленных оператором), применяется аналогичный подход, но при этом также необходимо принимать во внимание вероятность возникновения потенциального исходного события. Соответствующие пояснения приводятся в подразделе 5.1.5.

5.1.3.1. Основа классификационной оценки

Соответствующие классификационные оценки событий-происшествий с реальным исходным событием приводятся в таблице 9. Основой для определения уровней, указанных в таблице, являются следующие соображения.

Конечно, если функция безопасности является *недостаточной*, то авария произойдет, и ее необходимо будет быть оценивать на основе фактических последствий. Такая классификационная оценка вполне может превысить уровень 3. Однако с точки зрения воздействия на глубокоэшелонированную защиту уровень 3 – это наивысшая оценка. Такую ситуацию отражает оценка 3 + в таблице 9.

Если функция безопасности является всего лишь *достаточной*, то также применяется уровень 3, так как последующий отказ приведет к аварии. Однако в некоторых других случаях, даже когда работоспособность ниже уровня, требуемого ЭПУ, она может быть значительно выше, чем всего лишь *достаточная*, особенно в случае *ожидаемых* исходных событий, поскольку и в этих случаях в требованиях ЭПУ часто предусматривают значительные меры по обеспечению резервирования или неодинаковости. Поэтому в таблице 9 для *ожидаемых* исходных событий и *достаточной* функции безопасности указан уровень 2 или 3, и выбор зависит от степени, в которой работоспособность превышает состояние, характеризуемое как только *достаточное*. В случае *маловероятных* исходных событий работоспособность, требуемая в соответствии с ЭПУ, вероятно, будет только *достаточной*, и поэтому в целом уровень 3 будет соответствовать *достаточной* работоспособности. Однако могут быть конкретные исходные события, для которых предусматривается резервирование, и поэтому в таблице 9 указан уровень 2 или 3 для всех вариаций частоты возникновения исходных событий.

Очевидно, что при *полной* работоспособности функции безопасности и *ожидаемом* исходном событии оценка должна быть “событие ниже шкалы/уровень 0”, как указано в таблице 9. Однако возникновение *возможного* или *маловероятного* исходного события, даже несмотря на то, что может быть предусмотрена значительная степень резервирования в системах безопасности, представляет собой отказ одного из важных компонентов глубокоэшелонированной защиты, а именно той ее части, которая предотвращает возникновение исходных событий. Поэтому в таблице 9 указан уровень 1 для *возможных* исходных событий и уровень 2 для *маловероятных* исходных событий.

Если работоспособность функций безопасности – *минимально требуемая по ЭПУ*, то в некоторых случаях, как уже отмечалось, при *возможных* и особенно *маловероятных* исходных событиях дополнительное резервирование не обеспечивается. Поэтому применяется уровень 2 или 3 в зависимости от оставшегося резервирования. В случае *ожидаемых* исходных событий обеспечивается дополнительное резервирование, и, следовательно, применяется более низкая классификационная оценка. В таблице 9 указан уровень 1 или 2, и снова выбор оценки зависит от наличия дополнительного резервирования для данной функции безопасности. Когда готовность функции безопасности превышает *минимально требуемую по ЭПУ*, но ниже *полной*, в случае *ожидаемых* исходных событий может обеспечиваться значительная степень резервирования и неодинаковости (разнородности). В таких случаях более правильной является оценка “событие ниже шкалы/уровень 0”.

ТАБЛИЦА 9. СОБЫТИЯ-ПРОИСШЕСТВИЯ С РЕАЛЬНЫМ ИСХОДНЫМ СОБЫТИЕМ

Работоспособность функции безопасности	Частота исходного события		
	(1) Ожидаемое	(2) Возможное	(3) Маловероятное
А Полная	0	1	2
В Минимально требуемая эксплуатационными пределами и условиями	1 или 2	2 или 3	2 или 3
С Достаточная	2 или 3	2 или 3	2 или 3
Д Недостаточная	3+	3+	3+

5.1.3.2. Процедура оценки

С учетом общей информации, представленной в предыдущем подразделе, события следует оценивать, применяя следующую процедуру:

- 1) Определите исходное событие, которое произошло.
- 2) Определите категорию частоты, которой характеризуется данное исходное событие. При выборе соответствующей категории следует исходить из той частоты, которая была принята в анализе безопасности установки (обосновании безопасности установки и параметров безопасной эксплуатации).
- 3) Определите категорию работоспособности (готовности) функций безопасности, действия которых потребовало исходное событие.
 - a) Важно рассматривать только те функции безопасности, действия которых требует исходное событие. Если обнаружена деградация других систем безопасности, ее следует оценивать согласно указаниям для *событий без реального исходного события*, изложенным в подразделе 5.1.4, по отношению к тому исходному событию, которое потребовало бы действия этой функции безопасности.
 - b) При оценке работоспособности на соответствие ЭПУ должны рассматриваться требования, предъявляемые к работоспособности до происшествия, а не во время него.
 - c) Если работоспособность удовлетворяет ЭПУ, но только *достаточная*, то для работоспособности следует выбирать категорию С, так как дополнительное резервирование отсутствует (см. предыдущие пункты данного подраздела).
- 4) Далее уровень оценки события (происшествия) определяется по таблице 9. Если при этом необходимо делать выбор из указанных значений, то он должен основываться на степени резервирования и неодинаковости (разнородности) при рассматриваемом исходном событии.
 - a) Если функция безопасности является всего лишь *достаточной* (т.е. еще один отказ может привести к аварии), то применяется уровень 3.
 - b) В комбинации В1 таблицы 9 правильным выбором будет более низкий уровень, если сохраняется значительная степень резервирования и/или неодинаковости.
 - c) В некоторых конструкциях реакторов обеспечивается большой запас резервирования/неодинаковости применительно к *ожидаемым* исходным событиям. Если работоспособность функции безопасности выше *минимально требуемой по ЭПУ*, но несколько ниже *полной*, то более правильной будет оценка “событие ниже шкалы/уровень 0”.

Запроектные исходные события не включены как отдельный элемент в таблицу 9. Если такое исходное событие произошло, то за ним может последовать авария, требующая классификации на основе фактических последствий. Если же оно не произошло, то правильной будет оценка по воздействию на глубокоэшелонированную защиту на уровне 2 или 3, в зависимости от степени резервирования систем, обеспечивающих защиту.

С помощью таблицы 9 может быть оценено возникновение внутренних или внешних опасностей, таких как пожары, наводнения, цунами, взрывы, ураганы, смерчи (торнадо) или землетрясения. Опасность сама по себе не рассматривается как исходное событие (поскольку опасность может приводить к исходным событиям, либо к деградации систем безопасности, или же к тому и другому одновременно); следует оценивать системы безопасности, оставшиеся работоспособными в связи с исходным событием, которое действительно произошло, и/или с потенциальными исходными событиями.

5.1.4. Оценка базового уровня классификации событий-происшествий без реального исходного события

Как указывалось в предыдущем подразделе, чтобы получить базовый уровень классификации, нужно, прежде всего, решить, потребовалось ли фактически действие систем безопасности (произошло ли реальное исходное событие). Если да, то следует пользоваться подразделом 5.1.3; в противном случае необходимо следовать указаниям данного подраздела. В некоторых случаях приходится рассматривать событие, применяя указания обоих подразделов, если исходное событие произошло и при этом была выявлена пониженная готовность функции, действия которой не потребовало реальное исходное событие (например, если при быстром останове реактора без потери внешнего энергоснабжения обнаружена пониженная работоспособность дизель-генераторов).

Для событий, включающих в себя потенциальные отказы, которые могут привести к неработоспособности систем безопасности (например, обнаружение конструктивных дефектов), применяется аналогичный подход, но при этом необходимо принимать во внимание вероятность возникновения неработоспособности систем безопасности. Соответствующие пояснения приводятся в подразделе 5.1.5.

5.1.4.1. Основа классификационной оценки

Соответствующие классификационные оценки событий-происшествий без реального исходного события приводятся в таблице 10. Основой для определения уровней, указанных в таблице, являются следующие соображения.

Классификационная оценка события будет зависеть от деградации (степени ухудшения) функций безопасности и от вероятности исходного события, для которого они предназначены. Строго говоря, это – вероятность возникновения исходного события в период деградации функции безопасности, однако в целом методология не учитывает этот период времени. Если же период деградации очень короток, правильной может быть оценка ниже уровня, указанного в таблице 10 (см. подраздел 5.1.4.2).

При *недостаточной* работоспособности (готовности) функции безопасности авария предотвращается только благодаря тому, что исходное событие не наступает. В таком случае, если функция безопасности рассматривается применительно к *ожидаемым* исходным событиям, то применяется уровень 3. Если же *недостаточная* функция безопасности рассматривается только применительно к *возможным* или *маловероятным* исходным событиям, разумеется, что применяется более низкий уровень, так как вероятность аварии при этом будет намного более низкой. Поэтому в таблице 10 указан уровень 2 для *возможных* исходных событий и уровень 1 для *маловероятных* исходных событий.

Очевидно, что выбираемый уровень должен быть более низким, когда функция безопасности является *достаточной*, чем в случае, когда она характеризуется как *недостаточная*. Таким образом, если функция рассматривается применительно к *ожидаемым* исходным событиям, а работоспособность характеризуется как только *достаточная*, то применяется уровень 2. Однако в некоторых случаях работоспособность функции безопасности может быть значительно выше, чем только *достаточная*, при этом она не будет соответствовать эксплуатационным пределам и условиям. Это объясняется тем, что в случае работоспособности, *минимально требуемой эксплуатационными пределами и условиями*, применительно к некоторым *ожидаемым* исходным событиям часто предусматривают меры по обеспечения резервирования и/или неодинаковости. В таких случаях более правильной является оценка на уровне 1. В таблице 10, как можно видеть, указан уровень 1 или 2. Соответствующий уровень следует выбирать в зависимости от сохранившихся средств обеспечения резервирования и/или неодинаковости.

Если функция безопасности рассматривается применительно к *возможным* или *маловероятным* исходным событиям, то понижение на одну ступень уровня, определенного выше для *недостаточной* системы, дает уровень 1 в случае *возможных* исходных событий и оценку “событие ниже шкалы/уровень 0” в случае *маловероятных* исходных событий. Однако нельзя считать правильной оценку “событие ниже шкалы/уровень 0” при снижении работоспособности системы безопасности до категории ниже требований ЭПУ. Поэтому в таблице 10 указан уровень 1 как для *возможных*, так и для *маловероятных* исходных событий.

Если работоспособность функции безопасности *полная* или соответствует требованиям ЭПУ и установка остается в рамках параметров безопасной эксплуатации, для всех частот исходных событий указана оценка “событие ниже шкалы/уровень 0”. Поэтому оценка “событие ниже шкалы/уровень 0” указана в строках А и В таблицы 10.

ТАБЛИЦА 10. СОБЫТИЯ-ПРОИСШЕСТВИЯ БЕЗ РЕАЛЬНОГО ИСХОДНОГО СОБЫТИЯ

Работоспособность функции безопасности	Частота исходного события		
	(1)	(2)	(3)
	Ожидаемое	Возможное	Маловероятное
А Полная	0	0	0
В Минимально требуемая по ЭПУ	0	0	0
С Достаточная	1 или 2	1	1
Д Недостаточная	3	2	1

5.1.4.2. Процедура оценки

С учетом общей информации, представленной в предыдущем подразделе, события следует оценивать, применяя следующую процедуру:

- 1) Определите категорию работоспособности (готовности) функции безопасности.
 - а) Если работоспособность *достаточная* и удовлетворяет ЭПУ, то для работоспособности следует выбирать категорию В, так как установка остается в пределах параметров безопасной эксплуатации.
 - б) На практике системы безопасности или их оборудование могут находиться в таком состоянии, которое невозможно полностью охарактеризовать какой-либо из принятых четырех категорий. Работоспособность функции безопасности может быть меньше, чем *полная*, но больше, чем *минимально требуемая по ЭПУ*; или система в целом может быть работоспособна, но ухудшение ее состояния обусловлено потерей сигналов. В таких случаях следует использовать соответствующие категории как возможный диапазон, в котором надлежащий уровень определяется экспертной оценкой.
- 2) Определите категорию частоты исходного события, для которого требуется функция безопасности.

- a) Если к данной функции имеют отношение два или более исходных событий, то необходимо рассмотреть каждое из них и использовать то, которое дает наибольший уровень.
 - b) Если частота лежит на границе между двумя категориями, то обе категории могут использоваться для определения возможного диапазона оценок, и снова потребуется экспертная оценка.
 - c) В отношении систем, специально предусмотренных для защиты от опасностей, такую опасность следует рассматривать как исходное событие.
- 3) Уровень оценки события-происшествия определяется по таблице 10.
- a) Если период неработоспособности очень короток по сравнению с интервалом между испытаниями элементов систем безопасности (например, два часа для элемента с ежемесячным испытательным периодом), то следует рассмотреть снижение базового уровня классификации события.
 - b) В случае комбинации С1 таблицы, где указан диапазон оценок, выбор следует делать в зависимости от того, является ли работоспособность только *достаточной* или сохраняются ли резервирование и/или неодинаковость (разнородность) применительно к рассматриваемому исходному событию.

Запроектные исходные события не включены в таблицу 10 как отдельный элемент. Если работоспособность затронутой функции безопасности меньше *минимально требуемой по ЭПУ*, это соответствует уровню 1. Если же работоспособность в пределах требований ЭПУ или ЭПУ не предусматривают никаких ограничений по работоспособности системы, то правильной будет оценка “событие ниже шкалы/уровень 0”.

5.1.5. Потенциальные события (в том числе конструкционные дефекты)

Некоторые события-происшествия сами по себе не приводят к исходным событиям или ухудшению (деградации) работоспособности системы безопасности, но увеличивают вероятность возникновения такого события-происшествия. Например, это могут быть обнаруженные конструкционные дефекты или течь, остановленная вмешательством оператора. Общий подход к оценке этих событий является следующим. Во-первых, следует определить значимость потенциального события, исходя при этом из предположения, что оно действительно произошло, и применяя указания подраздела 5.1.3 или 5.1.4, с учетом работоспособности средств обеспечения безопасности, которые существовали на данный момент времени. Выбор соответствующего подраздела зависит от характера потенциального события, является ли оно

исходным событием или деградацией системы безопасности. Во-вторых, следует снизить оценку в зависимости от вероятности того, что потенциальное событие может возникнуть в результате происшествия, которое действительно произошло. Уровень, до которого следует снизить классификационную оценку события, должен основываться на экспертной оценке.

Один из наиболее распространенных примеров потенциальных событий – это обнаруженные конструкционные дефекты. Для выявления конструкционных дефектов прежде, чем они станут недопустимыми, применяется соответствующая программа контроля. Если дефект остался в допустимых пределах, то применяется оценка “событие ниже шкалы/уровень 0”.

Если же событием является обнаружение дефекта, превышающего по своим масштабам дефект, ожидаемый в программе контроля, то при классификации такого события нужно учитывать два фактора.

Во-первых, следует определить классификационную оценку потенциального события, исходя при этом из предположения, что данный дефект привел к отказу элемента, и применяя подраздел 5.1.3 или 5.1.4. Если дефект обнаружен в системе безопасности, то базовый уровень классификации потенциального события определяется путем применения подраздела 5.1.4. Возможно, при этом потребуются учесть вероятность общего отказа (отказа по общей причине). Если отказ элемента, имеющего дефект, мог бы вызвать исходное событие, то базовый уровень классификации потенциального события определяется путем применения подраздела 5.1.3. Несмотря на то, что дефект может быть обнаружен во время останова, его значимость необходимо рассматривать за период времени, в течение которого он, вероятно, существовал.

Полученную таким путем классификационную оценку потенциального события следует затем скорректировать в зависимости от вероятности того, что дефект привел бы к отказу элемента, и с учетом дополнительных факторов, которые рассматриваются в подразделе 5.2.

5.1.6. События ниже шкалы/уровень 0

В целом события следует классифицировать с оценкой “событие ниже шкалы/уровень 0” только в том случае, если применение процедур, описанных выше, не приводит к более высокой оценке. Однако, если не применим ни один из дополнительных факторов, рассматриваемых в подразделе 5.2, то обычно классифицируются как “событие ниже шкалы/уровень 0” следующие типы событий:

- нормально протекающий быстрый останов реактора;

- ложное срабатывание¹⁷ систем безопасности, не затрагивающее безопасность установки, с нормальным возвратом в рабочее состояние;
- течь теплоносителя, величина которой ниже допустимой ЭПУ;
- единичные отказы или неработоспособность элементов в резервированной системе, обнаруженные во время плановой периодической инспекции или испытаний.

5.2. РАССМОТРЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ФАКТОРОВ

Некоторые факторы могут одновременно воздействовать на разные эшелоны (уровни) глубокоэшелонированной защиты и, следовательно, должны рассматриваться как дополнительные факторы, которые могут служить основанием для повышения классификационной оценки события на одну ступень выше базовой оценки, полученной согласно предыдущим указаниям.

К таким основным дополнительным факторам относятся:

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

Вследствие такой корректировки событие может быть оценено уровнем 1, хотя без учета этих дополнительных факторов само по себе оно не имело бы значимости с точки зрения безопасности.

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

- 1) С учетом всех дополнительных факторов уровень события может быть повышен только на одну ступень.
- 2) Некоторые из перечисленных выше факторов могли быть уже включены в базовую оценку (например, общий отказ). Поэтому важно проследить, чтобы такие отказы не учитывались дважды.
- 3) Событие не может быть классифицировано выше уровня 3, и этот верхний предел для глубокоэшелонированной защиты применяется только в тех

¹⁷ 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.

случаях, когда еще одно событие (*ожидаемое* исходное событие или отказ еще какого-либо элемента) приводит к аварии.

5.2.1. Отказы по общей причине

Отказ по общей причине – это неспособность ряда устройств или элементов выполнять свои функции вследствие единичного конкретного события или одной причины. В частности, он может вызвать отказ резервируемых элементов 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, воздействующее на элемент, который предопределяет потенциальный отказ по общей причине, затрагивающий другие аналогичные элементы, является более серьезным, чем событие, которое связано со случайным отказом элемента.

События, связанные с осложнениями в функционировании некоторых систем из-за недостаточной или неверной информации, также могут рассматриваться с точки зрения повышения уровня оценки вследствие отказа по общей причине.

5.2.2. Процедурные несоответствия

Вследствие применения неадекватных процедур одновременному воздействию могут быть подвергнуты несколько эшелонов глубокоэшелонированной защиты. Поэтому такие несоответствия в процедурах тоже могут быть причиной повышения базового уровня классификации события.

Примерами могут служить:

- неправильные или недостаточные инструкции, которыми должны руководствоваться операторы при определенных событиях (во время аварии на АЭС "Три-Майл-Айленд" в 1979 году процедуры для операторов на случай срабатывания аварийного впрыска не предусматривали конкретную ситуацию потери теплоносителя в паровой фазе через компенсатор давления);
- недостатки в программе контроля, проявившиеся в нарушениях, которые не были выявлены нормальными процедурами; или периоды неготовности системы/оборудования, значительно превышающие нормальный интервал испытаний.

5.2.3. Недостатки в культуре безопасности

Культура безопасности определяется как “набор характеристик и особенностей деятельности организаций и поведения отдельных лиц, который устанавливает, что проблемам защиты и безопасности, 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 эксплуатационный персонал будет действовать не так, как предусмотрено проектом. Поэтому культуру безопасности нужно рассматривать как составную часть глубокоэшелонированной защиты, и, следовательно, недостатки в культуре безопасности могут служить основанием для повышения оценки события на одну ступень (в документе INSAG-4 [7] содержится дополнительная информация по культуре безопасности).

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

5.2.3.1. Нарушение ЭПУ

Одним из наиболее легко определяемых показателей недостатков в культуре безопасности является нарушение ЭПУ.

ЭПУ регламентируют минимальную работоспособность систем безопасности, при которой эксплуатация соответствует требованиям к обеспечению безопасности реактора. Сюда может также относиться эксплуатация с пониженной готовностью систем безопасности в течение ограниченного периода времени. В большинстве стран ЭПУ включаются в технические условия (технологические регламенты) эксплуатации. Кроме того, на случай несоблюдения ЭПУ в технических условиях регламентируются необходимые действия с указанием допустимого времени восстановления, а также соответствующего состояния после восстановления.

Если обнаруживается, что готовность системы ниже той, которая определена для категории В (например, после регламентного испытания), но реактор приводится в безопасное состояние в соответствии с техническими условиями, событие следует оценивать, как указано в подразделах 5.1.3 и 5.1.4, однако при этом базовый уровень классификации не следует повышать, так как требования технических условий выполняются.

Если работоспособность функции безопасности находится в пределах, определенных для категории В, но при этом эксплуатационный персонал остается дольше, чем это допускается (по техническим условиям) в данном режиме готовности, базовый уровень классификации будет на уровне 0, однако

классификационную оценку следует повысить до уровня 1 из-за недостатков в культуре безопасности.

Точно также, если эксплуатационный персонал преднамеренно совершает действие, которое приводит к эксплуатационной готовности установки с нарушением ЭПУ, в оценке следует учитывать повышение базового уровня классификации события вследствие недостатков в культуре безопасности.

В дополнение к официально действующим ЭПУ в некоторых странах в технических условиях предусматриваются такие дополнительные требования, как пределы в отношении долгосрочной безопасности элементов. В случае событий, при которых такие пределы превышаются на короткий период времени, более правильной будет оценка “событие ниже шкалы/уровень 0”.

5.2.3.2. Другие недостатки в культуре безопасности

Другими примерами показателей недостатков в культуре безопасности могут быть:

- нарушение процедуры без предварительного разрешения;
- недостатки в процессе обеспечения качества;
- накопление человеческих ошибок;
- облучение лица из населения в результате единичного события, превышающее установленные пределы годовой дозы;
- суммарное облучению персонала или лиц из населения, превышающее установленные пределы годовой дозы;
- несоблюдение надлежащего контроля за радиоактивными материалами, включая выбросы в окружающую среду, распространение радиоактивного загрязнения или нарушение в системах дозиметрического контроля;
- повторение события, свидетельствующее о том, что оператор надлежащим образом не извлек соответствующие уроки или не принял корректирующих мер после первого подобного события.

Важно отметить, что указания настоящего раздела не преследуют цель инициировать длительный и детальный анализ, они позволяют учесть экспертные оценки, которые могут быть оперативно сделаны лицами, классифицирующими данное событие. Часто трудно сразу же после события определить необходимость повышения классификационной оценки события из-за недостаточной культуры безопасности. В этом случае следует давать предварительную классификационную оценку на основе того, что известно на данный момент времени, а в конечной оценке впоследствии может быть учтена дополнительная информация, касающаяся культуры безопасности, которая будет получена в результате детального исследования.

5.3. РАБОЧИЕ ПРИМЕРЫ

Пример 27. Быстрый останов реактора, вызванный падением управляющих стержней — событие ниже шкалы/уровень 0

Описание события

Энергоблок работал на номинальной мощности. Во время перемещения группы стержней останова, которое производилось в рамках периодических контрольных испытаний управляющих (регулирующих) стержней, реактор был остановлен защитой по сигналу “высокая отрицательная скорость изменения нейтронного потока в энергетическом диапазоне”. Это вызвало также автоматическое отключение турбины и генератора.

Сразу же управляющие стержни были остановлены, и состояние этих управляющих стержней было проверено по указателю их положения. Оказалось, что падение четырех управляющих стержней группы останова, испытания которой проводились, произошло раньше останова реактора.

Сигнал высокой отрицательной скорости был предназначен для защиты приборов от отказа, а не для защиты от проектных отказов.

Проверка схемы управления приводами стержней показала, что причиной неисправности была дефектная печатная плата.

Эту неисправную плату заменили запасной платой, и после проверки схемы управления был восстановлен нормальный режим эксплуатации.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2. и 3. Фактические последствия	Фактических последствий в результате данного события не было.
5.1.1. Частота исходного события	Случайное падение управляющих стержней не требует действия функций безопасности и поэтому не является исходным событием. Исходным событием является быстрый останов реактора (категория частоты — <i>ожидаемое</i>).
5.1.2. Работоспособность функции безопасности	Функция безопасности “охлаждение топлива” была <i>полной</i> .
5.1.3. и 5.1.4. Базовый уровень классификации	Имело место реальное исходное событие. Следует применить пункт А(1) таблицы 9 из подраздела 5.1.3, что дает базовый уровень классификации — событие ниже шкалы/уровень 0.

Объяснение оценки

5.2. Дополнительные факторы Основания для повышения оценки нет.

Общая оценка Событие ниже шкалы/уровень 0.

Пример 28. Утечка теплоносителя реактора во время перегрузки топлива на мощности — уровень 1

Описание события

Во время регламентной перегрузки топлива на полной мощности утечка теплоносителя в перегрузочной камере тяжеловодного реактора достигла 1,4 т/ч. Операторы определили, что восточный мост перегрузочной машины опустился на 40 см. Реактор был остановлен и расхоложен. Давление теплоносителя поддерживалось подачей воды с других энергоблоков и из бака-приямка. Суммарная утечка составила 22 т (около 10% общего объема теплоносителя). Действия систем безопасности не потребовалось, за исключением герметизации защитной оболочки по сигналу высокой активности через 1 ч. Превышающих норму выбросов в окружающую среду не было. Причиной происшествия явилась неисправность блокировки, которая не была проверена по программе контроля.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2. и 3. Фактические последствия события	Фактических последствий в результате данного события не было.
5.1.1. Частота исходного события	Хотя имела место очень малая утечка теплоносителя реактора, функции безопасности не потребовались, поскольку запас воды поддерживался действиями операторов. Реального исходного события не было.
5.1.2. Работоспособность функции безопасности	В случае дальнейшего развития события в аварию с потерей теплоносителя (АПТ) через малую течь все необходимые системы безопасности были полностью работоспособны.

Объяснение оценки

5.1.3. и 5.1.4. Базовый уровень классификации	Реального исходного события не было. Следует применить пункт А таблицы 10 из подраздела 5.1.4, что дает базовый уровень классификации 0. Согласно подразделу 5.1.5, если бы утечку не удалось поставить под контроль, это привело бы к АПТ через малую течь при частоте исходного события “возможные”. Согласно пункту А(2) таблицы 9, классификационная оценка потенциального события была бы на уровне 1. Поскольку вероятность того, что операторы не смогли бы поставить утечку под контроль, является низкой, оценку следует понизить до уровня 0.
5.2. Дополнительные факторы	Блокировка не была проверена по программе контроля. Кроме того, об этом недостатке было известно до события. По этим соображениям оценка события была повышена до уровня 1.
Конечная оценка	Уровень 1.

Пример 29. 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. Было 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.

Был сделан вывод, что причиной события явилась ошибка человека. Однако было установлено, что эта ошибка произошла 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

Критерии	Объяснение
2. и 3. Фактические последствия	Фактических последствий в результате данного события не было.
5.1.1. Частота исходного события	Реального исходного события не было. Исходным событием, которое потребовало бы действия функции безопасности, находившейся в ухудшенном состоянии, является АПТ через большую течь (<i>маловероятное</i> событие).
5.1.2. Работоспособность функции безопасности	Работоспособность функции безопасности “локализация радиоактивного материала” ухудшилась. Она была меньше, чем <i>минимально требуемая по ЭПУ</i> , но больше, чем только <i>достаточная</i> , благодаря готовности другой системы.
5.1.3. и 5.1.4. Базовый уровень классификации	Реального исходного события не было. Следует применить пункт С(3) таблицы 10 из подраздела 5.1.4, что дает базовый уровень классификации 1.
5.2. Дополнительные факторы	Неисправность была вызвана ошибкой человека, но это не является основанием для повышения уровня события вследствие недостаточной культуры безопасности (в подразделе 5.1.4 поясняется, что выбор уровня 1 вместо нулевого для базовой оценки уже учитывает факт нарушения ЭПУ.)
Конечная оценка	Уровень 1.

Пример 30. 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 (СОТ) 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 бар. 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 м³/ч. Оператор пошел в реакторное здание, чтобы попытаться обнаружить место течи, и решил, что течь идет 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 установить причину течи.

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

Около 09:00 датчики активности показали прирост уровня радиоактивности в реакторном здании. В 09:56 было достигнуто значение 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 барботажном баке компенсатора давления около 50°С, 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 реактора составляло 25 бар. Энергоблок находился в подкритичном 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

Критерии	Объяснение
2. и 3. Фактические последствия	Фактических последствий в результате данного события не было.
5.1.1. Частота исходного события	Реального исходного события не было, поскольку не потребовалось действие систем безопасности, обеспечивающих аварийное охлаждение активной зоны. Начавшаяся утечка контролировалась с помощью систем нормальной подпитки (см. подраздел 5.1.1).
5.1.2. Работоспособность функции безопасности	На случай дальнейшего развития события в аварию с потерей теплоносителя (АПТ) через малую течь все необходимые системы безопасности были полностью работоспособны.
5.1.3. и 5.1.4. Базовый уровень классификации	Реального исходного события не было. Следует применить пункт А таблицы 10 из подраздела 5.1.4, что дает базовый уровень классификации — событие ниже шкалы/уровень 0. Согласно подразделу 5.1.5, если бы ситуация с утечкой ухудшалась без надлежащих действий эксплуатационного персонала, это привело бы к АПТ через малую течь при частоте исходного события “возможные”. Согласно пункту А(2) таблицы 9, классификационная оценка потенциального события была бы на уровне 1. Поскольку вероятность потенциального события является низкой, оценку следует понизить до уровня 0.
5.2. Дополнительные факторы	Ложное инициирование изоляции защитной оболочки привело к осложнениям и неверной информации. По этим соображениям оценка события была повышена до уровня 1 (см. подраздел 5.2.1).
Конечная оценка	Уровень 1.

Пример 31. Падение тепловыделяющей сборки во время перегрузки топлива — уровень 1

Описание события

После подъема тепловыделяющей сборки (ТВС) из ее ячейки при выполнении операций по перегрузке топлива 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

Критерии	Объяснение
2. и 3. Фактические последствия	Фактических последствий в результате данного события не было.
5.1.1. Частота исходного события	Хотя инцидент затронул только необлученное топливо, он мог бы произойти и с облученным топливом. Падение одной ТВС определяется как <i>возможное</i> исходное событие.
5.1.2. Работоспособность функции безопасности	Имевшиеся системы безопасности были полностью работоспособными.
5.1.3. и 5.1.4. Базовый уровень классификации	Имело место реальное исходное событие. Следует применить пункт А(2) таблицы 9 из подраздела 5.1.3, что дает базовый уровень классификации 1. Согласно подразделу 6.3.8, классификационная оценка остается на этом же уровне.
5.2. Дополнительные факторы	Основания для повышения оценки нет.
Конечная оценка	Уровень 1.

Пример 32. 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. Был выбран коэффициент для мощности 96%, хотя реактор

работал на 100%-ной мощности. Эта ошибка в калибровке была обнаружена приблизительно через 6 ч, и тогда все детекторы были перекалиброваны на правильное значение для режима работы на полной мощности. Поэтому примерно в течение 6 ч была понижена эффективность этого параметра для обеих систем останова. Благодаря резервированию постоянно оставался эффективным второй параметр защиты, обеспечивающий быстрый аварийный останов.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2. и 3. Фактические последствия	Фактических последствий в результате данного события не было.
5.1.1. Частота исходного события	Реального исходного события не было. Защита реактора требовалась для <i>ожидаемых</i> исходных событий.
5.1.2. Работоспособность функции безопасности	Работоспособность системы защиты снизилась. Эта работоспособность была меньше, чем <i>минимально требуемая по ЭПУ</i> , но больше, чем только <i>достаточная</i> , благодаря резервированию, так как оставался эффективным второй параметр защиты – быстрый останов. Кроме того, в худшем случае защиту могли обеспечить и неправильно откалиброванные детекторы.
5.1.3. и 5.1.4. Базовый уровень классификации	Реального исходного события не было. Следует применить пункт C(1) таблицы 10 из подраздела 5.1.4, что дает базовый уровень классификации 1 или 2. Выбран уровень 1, так как работоспособность сохранялась на значительно более высоком уровне, чем только <i>достаточная</i> .
5.2. Дополнительные факторы	Что касается возможных корректировок базового уровня классификации, то можно учесть, что ошибка сохранялась недолгое время. Но с другой стороны, имели место недостатки в процедуре. Поэтому было решено оставить уровень 1.
Конечная оценка	Уровень 1.

Пример 33. 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 ч. 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

Критерии	Объяснение
2. и 3. Фактические последствия	Фактических последствий в результате данного события не было.
5.1.1. Частота исходного события	Исходного события не было. Дизель-генераторы потребовались бы для компенсации потери внешнего электроснабжения (<i>ожидаемое событие</i>).
5.1.2. Работоспособность функции безопасности	Работоспособность была не ниже, чем <i>минимально требуемая по ЭПУ</i> , поскольку оставались исправными два канала. Проведенные в конечном итоге дополнительные испытания подтвердили эксплуатационную готовность двух каналов.
5.1.3. и 5.1.4. Базовый уровень классификации	Реального исходного события не было. Следует применить пункт В(1) таблицы 10 из подраздела 5.1.4, что дает базовый уровень классификации — событие ниже шкалы/уровень 0.
5.2. Дополнительные факторы	Операторы без всяких оснований нарушили технологический регламент, поэтому оценка события повышена до уровня 1
Конечная оценка	Уровень 1.

Пример 34. Проект станции в части противодействия событиям, связанным с затоплением, возможно, не обеспечивает смягчения последствий отказов систем трубопроводов — уровень 1

Описание события

Инспекция, проведенная регулирующим органом, определила, что в проекте не были надлежащим образом учтены последствия внутреннего затопления.

Имелась документация по противодействию конкретным событиям, связанным с затоплением в результате постулируемых отказов оборудования станции, но полный анализ по внутреннему затоплению станции не был выполнен во время первоначального проектирования станции или в последующий период.

В качестве мер реагирования на выявленные недостатки в проекте станции были осуществлены некоторые изменения, сводящие к минимуму проблемы, связанные с оборудованием и персоналом станции, применительно к противодействию потенциальным событиям, при которых происходит затопление. Однако до конца не было ясно, что проект станции обеспечивает надлежащую защиту от последствий несвязанных с безопасностью отказов систем трубопроводов в турбинном отделении. Высокий уровень воды в турбинном отделении мог привести к поступлению воды в некоторые помещения с оборудованием, содержащим инженерно-технические средства безопасности (ИТСБ), так как эти помещения были отделены от турбинного отделения только неводонепроницаемыми дверями и имели общую систему дренажа пола. В помещениях с ИТСБ располагаются вспомогательная система питательной воды (AFW), аварийные дизель-генераторы и связанные с ИТСБ распределительные устройства на 480 В и 4160 В.

В результате проведения инспекции были разработаны проектные основы и основы для лицензирования применительно к случаям внутреннего затопления, а также была проведена аттестация на сейсмическую безопасность отдельных трубопроводов и элементов. В целях обеспечения защиты систем и элементов класса 1 в проект станции были внесены соответствующие изменения, как это было определено в обновленной документации по техническому обоснованию безопасности. Они включали установку барьеров от затопления у дверей, ведущих в помещения, содержащие оборудование, связанное с ИТСБ, установку обратных клапанов в отдельных линиях трапной воды и установку схемы, отключающей циркуляционные насосы при высоком уровне воды в подвале турбинного отделения.

Объяснение оценки

В целом недостатки проекта, выявленные во время периодических анализов безопасности или подготовки программ продления срока эксплуатации, не считаются отдельными событиями, которые должны оцениваться с применением шкалы ИНЕС. Однако ошибки в анализе, обнаруженные во время выполнения другой работы, вполне можно трактовать как события, о которых надлежит представлять информацию. Настоящее Руководство не преследует цель определения событий, о которых следует информировать, а предназначено дать указания о том, как следует оценивать события, о которых представляется информация. Данное событие включено для того, чтобы показать, как могут быть оценены такие события.

Критерии	Объяснение
2. и 3. Фактические последствия	Фактических последствий в результате данного события не было.
5.1.1. Частота исходного события	Исходного события не было. Системы безопасности потребовались для исходного события, представляющего собой разрыв трубопровода второго контура большого диаметра (<i>маловероятное</i> исходное событие).
5.1.2. Работоспособность функции безопасности	Работоспособность функции безопасности “охлаждение после останова” была <i>недостаточной</i> .
5.1.3. и 5.1.4. Базовый уровень классификации	Реального исходного события не было. Следует применить пункт D(3) таблицы 10 из подраздела 5.1.4, что дает базовый уровень классификации 1.
5.2. Дополнительные факторы	Основания для повышения оценки нет.
Конечная оценка	Уровень 1.

Пример 35. Два аварийных дизель-генератора не запустились после отключения от основных источников энергоснабжения — уровень 2

Описание события

Короткое замыкание (КЗ) в распределительном устройстве на 400 кВ, которое было вызвано ошибками, допущенными во время процедуры

испытаний, привело к отключению энергоблока от энергосети. Возбуждение генераторов вызвало увеличение уровня напряжения на генераторных шинах до приблизительно 120%. Это перенапряжение привело к тому, что два из четырех инверторов источников бесперебойного электроснабжения (БЭП) отключились. Приблизительно через 30 с после этого, когда режим питания собственных нужд на обоих турбогенераторах был потерян, из-за отключения инверторов БЭП произошло отсоединение двух из четырех аварийных дизель-генераторов от шины напряжением 500 В. Приблизительно через 20 мин после первоначального события 500-вольтовые дизельные шины отключенных секций были вручную соединены с системой напряжением 6 кВ, запитываемой от внешней вспомогательной энергетической установки, и все электрические системы установки снова стали работоспособными. Срабатывание аварийной защиты (аварийный останов) реактора было успешным, и все управляющие (регулирующие) стержни были введены в активную зону, как ожидалось. Два клапана в системе сброса давления открылись из-за не требовавшегося срабатывания каналов безопасности. Система аварийного охлаждения активной зоны реактора в двух из четырех каналов, однако, вполне могла поддерживать уровень в реакторе выше активной зоны, так как дополнительной АПТ не было. У персонала помещения щита управления возникли трудности в обеспечении должного контроля за работой станции во время данного события, поскольку многие сигналы и показания были утрачены из-за потери электроснабжения в двух каналах, которые обеспечивали питание большей части контрольно-измерительных приборов помещения щита управления. Последующее расследование происшествия показало, что перенапряжение на генераторных шинах вполне могло вывести из строя все четыре системы БЭП.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2. и 3. Фактические последствия	Фактических последствий в результате данного события не было.
5.1.1. Частота исходного события	Произошел быстрый останов реактора, который является частым исходным событием. Имела место также частичная потеря внешнего электроснабжения, которая обусловила запуск дизелей с последующим ручным подключением к вспомогательным источникам энергоснабжения.
5.1.2. Работоспособность функции безопасности	Все системы охлаждения были в рабочем состоянии, но питание для коммутации отсутствовало в двух каналах. Неготовность двух из четырех каналов была допустима в течение ограниченного периода времени, и это соответствовало ЭПУ.
5.1.3. и 5.1.4. Базовый уровень классификации	Имело место реальное исходное событие. Следует применить пункт В(1) таблицы 9 из подраздела 5.1.3, что дает базовый уровень классификации 1 или 2. Поскольку все системы охлаждения фактически оказались работоспособными благодаря переключению в ручном режиме, была выбрана более низкая классификационная оценка.
5.2. Дополнительные факторы	Здесь определенно проявилась проблема общего отказа, так как все четыре системы БЭП оказались уязвимыми при возникновении одного и того же случая перенапряжения. По этим соображениям базовая оценка события была повышена на одну ступень.
Конечная оценка	Уровень 2.

Событие также показало, что системы безопасности были уязвимы при потере внешнего электроснабжения с возникающим при этом скачком напряжения. Поэтому данное событие необходимо также оценивать с учетом выявленного снижения работоспособности.

Критерии	Объяснение
2. и 3. Фактические последствия	Фактических последствий в результате данного события не было.
5.1.1. Частота исходного события	Полной потери внешнего электроснабжения не произошло, однако это является <i>ожидаемым</i> исходным событием.
5.1.2. Работоспособность функции безопасности	Исходим из предположения, что потеря внешнего электроснабжения привела к переходному процессу, связанному с перенапряжением (который является вероятным), дизели запустились, однако при этом отсутствовало питание для их подключения. У оперативного персонала имелось приблизительно 40 мин для поиска решения и подсоединения дизелей вручную. С учетом этого работоспособность функции безопасности может быть оценена как <i>достаточная</i> .
5.1.3. и 5.1.4. Базовый уровень классификации	Реального исходного события не было. Следует применить пункт С(1) таблицы 10 из подраздела 5.1.4, что дает базовый уровень классификации 1 или 2. Поскольку все системы охлаждения фактически оказались работоспособными благодаря возможности подключения дизелей к источнику питания, была выбрана более низкая классификационная оценка.
5.2. Дополнительные факторы	Данный анализ уже допускает отказ всех систем БЭП, поэтому оснований для дальнейшего повышения оценки нет.
Конечная оценка	Уровень 2 на основе первого анализа с реальным исходным событием.

Пример 36. Потеря принудительной циркуляции газа на 15-20 мин — 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°С). Операторы сделали вывод, что все системы управления регулирующими стержнями стали неработоспособными.

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°С 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

Критерии	Объяснение
2. и 3. Фактические последствия	Фактических последствий в результате данного события не было.
5.1.1. Частота исходного события	<p>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 эту часть инцидента следует оценивать как событие ниже шкалы/уровень 0. Необходимо отметить, что хотя первым происшествием в инциденте был отказ в электропитании КИПиА, он, однако, не является исходным событием. Этот отказ КИПиА привел к нарушению подачи теплоносителя в один парогенератор, но не затронул непосредственно какие-либо системы безопасности. Поэтому его не следует считать исходным событием.</p> <p>Последующий переходный режим потребовал действия системы защиты и, следовательно, является исходным событием.</p> <p>Вторым исходным событием стал быстрый останов реактора защитой и останов газодувок с паротурбинным приводом. Это потребовало действия функции безопасности “охлаждение топлива”.</p>
5.1.2. Работоспособность функции безопасности	<p>Работоспособность этой функции безопасности была меньше, чем <i>минимально требуемая по ЭПУ</i>, поскольку не удалось запустить ни один из вспомогательных электродвигателей, но больше, чем только <i>достаточная</i>, так как естественная циркуляция обеспечивала эффективное охлаждение, а принудительная циркуляция была восстановлена прежде, чем температура могла бы возрасти до недопустимых значений.</p> <p>-----</p>

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
5.1.3. и 5.1.4. Базовый уровень классификации	Имело место реальное исходное событие. Следует применить пункт C(1) таблицы 9 из подраздела 5.1.3, что дает базовый уровень классификации 2 или 3. Как поясняется в этом подразделе, выбор уровня здесь зависит от того, насколько работоспособность больше, чем только <i>достаточная</i> . В данном случае, ввиду наличия естественной циркуляции и ограниченного времени неготовности принудительной циркуляции, правильным будет выбор уровня 2.
5.2. Дополнительные факторы	Что касается возможного повышения оценки, то здесь следует рассмотреть два вопроса, о которых говорится в подразделе 5.2.1. Во-первых, имел место отказ всех газодувок по общей причине. Но этот факт уже был учтен в базовой классификационной оценке, и повышение уровня по этой причине означало бы двойной учет (см. вводную часть подраздела 5.2, пункт 2)). Второй фактор – осложнения, 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 3) вводной части подраздела 5.2, уровень 3 не подходит, так как дальнейший единичный отказ элемента или узла не привел бы к аварии.
Конечная оценка	Уровень 2.

Пример 37. Малая течь в первом контуре — уровень 2

Описание события

В неизолируемой части одного из трубопроводов аварийного впрыска была обнаружена очень малая течь (которую удалось выявить только измерением влажности); эта течь возникла вследствие дефектов, поиск которых не был предусмотрен в программе контроля (данный участок не инспектировался по этой программе). Подобные, но меньшие дефекты имелись в других трубопроводах аварийного впрыска.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2. и 3. Фактические последствия	Фактических последствий в результате данного события не было.
5.1.1. Частота исходного события	Согласно подразделу 5.1.5, если бы дефект привел к разрушению элемента, то возникла бы авария с потерей теплоносителя (АПТ) через большую течь (<i>маловероятное</i> исходное событие).
5.1.2. Работоспособность функции безопасности	Работоспособность функции безопасности применительно к данному постулируемому исходному событию была <i>полной</i> .
5.1.3. и 5.1.4. Базовый уровень классификации	В соответствии с методологией оценки конструкционных дефектов следует применить пункт А(3) таблицы 9 из подраздела 5.1.3, что дает базовый уровень классификации 2. Поскольку в действительности имела место только течь (а не разрушение трубопровода), оценку следует снизить на одну ступень.
5.2. Дополнительные факторы	Дефекты могли бы привести к отказу всех трубопроводов аварийного впрыска по общей причине, поэтому оценка снова повышается до уровня 2.
Конечная оценка	Уровень 2.

Пример 38. Частичное засорение водозабора в холодную погоду — уровень 3

Описание события

Данное событие затронуло оба энергоблока станции, однако, чтобы упростить пример, здесь рассматривается воздействие только на примере энергоблока 2.

Электроснабжение на площадке могло обеспечиваться другим энергоблоком или четырьмя вспомогательными турбогенераторами.

Первоисточником происшествия стала холодная (морозная) погода, преобладавшая в то время в данном районе. Плавающий лед забил водозабор, а отключение обычной (неядерной) электростанции, тоже под влиянием низких температур, привело к падению напряжения в сети электропередачи.

Лед в виде шуги проскальзывал под пеноотделителем, достигая мусороудерживающих решеток насосной станции энергоблока 1. Далее, вероятно, лед слипался и смерзался в твердый ком, который частично закрыл решетки с двумя фильтрующими барабанами насосной станции энергоблока 1. Это могло привести к значительному снижению поступления воды в водозабор насосной станции. Аварийного сигнала, указывающего на понижение уровня, не было.

В результате понижения уровня воды 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 был приведен в состояние останова.

Энергоблок 2 еще работал, хотя с 9:33 до 10:35 не было работоспособных турбогенераторов собственных нужд на площадке (эта ситуация не предусматривалась и не допускалась техническими условиями), 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 (неготовность работы в режиме питания собственных нужд), что вызвало сброс стержней СУЗ и аварийный останов реактора, а также сопровождалось потерей внешнего электроснабжения (размыкание линейных выключателей).

На этот раз только два из четырех турбогенераторов собственных нужд были возвращены в рабочий режим. Соответственно только две из четырех турбогазодувок могли поддерживать охлаждение активной зоны. Линии электропередачи, связывающие энергоблок 2 с сетью, были восстановлены через 10 и 26 мин, и тогда удалось снова пустить другие газодувки.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2. и 3. Фактические последствия	Фактических последствий в результате данного события не было.
5.1.1. Частота исходного события	Из всей сложной совокупности событий оценивается работа энергоблока 2 без основных источников электроснабжения на площадке (отказ которых произошел вследствие нарушения подачи охлаждающей воды, в свою очередь вызванного намерзанием льда на водозаборе). Исходного события в данном случае не было, однако исходным событием, требующим подключения источников электроснабжения на площадке, является потеря (<i>ожидаемая</i>) внешнего электроснабжения.
5.1.2. Работоспособность функции безопасности	Функция безопасности “охлаждение топлива” ухудшилась. Работоспособность этой функции безопасности была <i>недостаточной</i> , поскольку на площадке не было источников электропитания.
5.1.3. и 5.1.4. Базовый уровень классификации	Реального исходного события не было. Следует применить пункт D(1) таблицы 10 из подраздела 5.1.4, что дает базовый уровень классификации 3.
5.2. Дополнительные факторы	Период неготовности был непродолжителен (1 ч), однако вероятность потери внешнего электроснабжения была высокая. Фактически далее в скором времени эта потеря произошла. Поэтому оснований для снижения уровня оценки нет.
Конечная оценка	Уровень 3.

Пример 39. Аварийный останов энергоблока, вызванный возмущениями в энергосистеме вследствие урагана — уровень 3

Описание события

Ураган (торнадо) 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 осуществлялся отвод

остаточного тепла. Охлаждение активной зоны обеспечивалось 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 продолжал поступать, продолжались и 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, продолжавшаяся 30 мин. В течение всего переходного процесса состояние активной зоны контролировалось с помощью аппаратуры, предусмотренной проектом.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2. и 3. Фактические последствия	Фактических последствий в результате данного события не было.
5.1.1. Частота исходного события	Произошло реальное исходное событие – потеря внешнего электроснабжения. Это исходное событие относится к категории <i>ожидаемое</i> . Исходное событие было вызвано ураганом (торнадо), но в подразделе 5.1.3 указано, что внешняя опасность сама по себе не должна рассматриваться как исходное событие.
5.1.2. Работоспособность функции безопасности	Даже несмотря на неготовность дизелей, готовность функции безопасности была только <i>достаточной</i> , учитывая ограниченное время потери внешних источников питания.
5.1.3. и 5.1.4. Базовый уровень классификации	Имело место реальное исходное событие. Следует применить пункт С(1) таблицы 9 из подраздела 5.1.3, что дает базовый уровень классификации 2 или 3. Выбран уровень 3, так как работоспособность функции безопасности была только <i>достаточной</i> .
5.2. Дополнительные факторы	Основания для повышения оценки нет.
Конечная оценка	Уровень 3.

Пример 40. Полное обесточивание станции вследствие пожара в турбинном здании — уровень 3

Описание события

Возник пожар в турбинном здании. Реактор с тяжелой водой под давлением (РНWR) 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

Критерии	Объяснение
2. и 3. Фактические последствия	Фактических последствий в результате данного события не было.
5.1.1. Частота исходного события	Потеря электропитания на площадке (класса IV, III, II или I) представляет собой <i>возможное</i> исходное событие для реакторов РНWR, которое произошло в действительности (т.е. стало реальным). Как и в предыдущем примере, опасность сама по себе не должна рассматриваться как исходное событие.
5.1.2. Работоспособность функции безопасности	Функция безопасности “охлаждение” была <i>достаточной</i> , так как вода во второй контур подавалась с помощью дизельных пожарных насосов, что не может быть отнесено к нормальной системе безопасности.
5.1.3. и 5.1.4. Базовый уровень классификации	Имело место реальное исходное событие. Следует применить пункт С(2) таблицы 9 из подраздела 5.1.3, что даст базовый уровень классификации 2 или 3.
5.2. Дополнительные факторы	Выбран уровень 3, поскольку готовность систем безопасности отсутствовала и многие показания были потеряны. Ряд возможных единичных отказов в дальнейшем мог бы привести к аварии.
Конечная оценка	Уровень 3.

6. ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННУЮ ЗАЩИТУ В СЛУЧАЕ СОБЫТИЙ НА КОНКРЕТНЫХ УСТАНОВКАХ

Данный раздел Руководства посвящен событиям, в случае которых “фактические последствия” отсутствуют, однако происходит отказ некоторых средств обеспечения безопасности. Целенаправленное включение в конструкцию множественных средств или барьеров называется “глубокоэшелонированной защитой”.

Приведенные в данном разделе указания применяются к событиям на установках топливного цикла, исследовательских реакторах, ускорителях (например, линейных ускорителях и циклотронах) и к событиям, связанным с отказами средств обеспечения безопасности на установках, имеющих отношение к изготовлению и распределению радионуклидов, или на установках, в которых используются источники категории 1. Они также применяются в случае многих событий на реакторных площадках. Раздел 5 содержит указания, касающиеся событий на энергетических реакторах, которые могут произойти во время их эксплуатации, а в данном разделе изложены указания для широкого круга других событий на реакторных площадках. В их число входят события, связанные с реакторами в режиме останова или реакторами, снимаемыми с эксплуатации, независимо от того, находится ли топливо на площадке или нет, а также другие события на реакторных площадках, такие как события, связанные с установками для хранения или содержания отходов. Раздел построен на применении так называемого “метода эшелон безопасности”.

Средства глубокоэшелонированной защиты, такие как блокировки, системы охлаждения, физические барьеры, предусматриваются на всех установках, на которых имеются радиоактивные материалы. Они обеспечивают защиту населения и персонала; в их число входят средства для предотвращения попадания материала в плохо защищенные места, а также выбросов радиоактивного материала. Здесь не приводится детальное объяснение концепции глубокоэшелонированной защиты, поскольку с ней знакомо большинство тех, кто будет применять настоящее Руководство в случае событий на установках. Тем не менее в Приложении I дан некоторый дополнительный справочный материал.

Данная часть Руководства состоит из четырех основных подразделов. В первом излагаются общие принципы оценки событий по их воздействию на глубокоэшелонированную защиту. Они должны охватывать широкий круг установок и событий различного типа, и поэтому носят общий характер. Для

обеспечения последовательного и согласованного применения общих правил в подразделе 6.2 даются более подробные указания, включая указания, касающиеся повышения оценки событий. В подразделе 6.3 даны указания, касающиеся событий конкретного типа, а в подразделе 6.4 приведены некоторые рабочие примеры.

6.1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ КЛАССИФИКАЦИОННОЙ ОЦЕНКИ СОБЫТИЙ

Хотя в шкале ИНЕС предусмотрено три уровня для воздействия на глубокоэшелонированную защиту, для некоторых установок или видов практической деятельности максимально возможные последствия, даже в случае отказа всех средств обеспечения безопасности, ограничены имеющимся количеством радиоактивного материала и механизмом выброса (утечки). Представляется нецелесообразным оценивать события, связанные с обеспечением глубокоэшелонированной защиты, в случае таких видов практической деятельности по наивысшему уровню воздействия на глубокоэшелонированную защиту. Если максимально возможные последствия для конкретной практической деятельности не могут быть оценены по шкале выше уровня 4, то максимальная оценка по глубокоэшелонированной защите соответствует уровню 2. Аналогично, если максимально возможные последствия не могут быть оценены выше уровня 2, то максимальная оценка по глубокоэшелонированной защите соответствует уровню 1. На одной установке может осуществляться целый ряд различных видов практической деятельности, и каждая практическая деятельность должна рассматриваться отдельно в данном контексте. Например, хранение и переработку отходов следует рассматривать как отдельные виды практической деятельности, хотя все они могут осуществляться на одной площадке.

После определения верхнего предельного уровня классификации по глубокоэшелонированной защите необходимо выяснить, какие средства обеспечения безопасности сохраняют свою функциональную работоспособность (т.е. какие дополнительные отказы средств обеспечения безопасности должны произойти, чтобы возникли максимально возможные последствия для данного вида практической деятельности). Сюда входит рассмотрение инженерно-технических систем и административных средств для предупреждения, контроля и смягчения последствий, включая пассивные и активные барьеры. Подход к классификации основывается на оценке вероятности развития события в аварию, при этом не следует непосредственно использовать вероятностные методы, а нужно рассматривать, какие дополнительные отказы средств обеспечения безопасности могли бы привести к аварии.

Таким образом “базовый уровень классификации” определяется исходя из максимально возможных последствий, а также числа и эффективности имеющихся средств обеспечения безопасности.

С целью учета основных “дополнительных факторов” следует рассматривать также возможное повышение “базового уровня классификации”. Такое повышение уровня позволяет учитывать аспекты события, которые могут свидетельствовать о более глубоком ухудшении состояния объекта или организационных условий на объекте. К рассматриваемым факторам относятся отказы по общей причине, процедурные несоответствия и недостатки в культуре безопасности. Эти факторы не входят в базовую оценку и могут указывать на то, что значимость события с точки зрения глубокоэшелонированной защиты выше, чем было принято при определении базового уровня классификации. Следовательно, для правильного информирования о действительной значимости события учитывается повышение оценки на одну ступень.

Таким образом, процедура оценки состоит из следующих этапов:

- 1) Определяется верхний предельный уровень классификационной оценки по глубокоэшелонированной защите, исходя из максимально возможных радиологических последствий (т.е. максимально возможной оценки соответствующих видов практической деятельности на данной установке на основе критериев, изложенных в Разделах 2 и 3 настоящего Руководства. Дальнейшие указания по определению максимально возможных последствий приведены в подразделе 6.2.1.
- 2) Далее определяется “базовый уровень классификации”, исходя из числа и эффективности имеющихся средств обеспечения безопасности (инженерно-технических систем и административных средств). При оценке числа и эффективности таких средств важно учитывать имеющееся в распоряжении время, а также время, требующееся для определения и осуществления соответствующих корректирующих мер. Дополнительная информация относительно оценки средств обеспечения безопасности приводится в подразделе 6.2.2.
- 3) Устанавливается конечная оценка с учетом возможного повышения базового уровня классификации из-за дополнительных факторов, как поясняется в подразделе 6.2.4. Конечная оценка, однако, должна оставаться в рамках верхнего предельного уровня классификационной оценки по глубокоэшелонированной защите, определенной согласно пункту (1).

Очевидно, что наряду с рассмотрением по состоянию глубокоэшелонированной защиты, каждое событие должно также рассматриваться в соответствии с критериями, изложенными в Разделах 2 и 3.

6.2. ПОДРОБНЫЕ УКАЗАНИЯ ПО КЛАССИФИКАЦИОННОЙ ОЦЕНКЕ СОБЫТИЙ

6.2.1. Определение максимально возможных последствий

Как указано выше, количества радиоактивного материала и временные рамки событий на установках, охватываемых шкалой ИНЕС, варьируются в широком диапазоне. В процесс оценки предусмотрены три категории максимально возможных последствий: уровни 5-7, уровни 3-4 и уровни 1-2.

При оценке уровня события по максимально возможным последствиям с применением шкалы ИНЕС следует руководствоваться изложенными ниже общими принципами:

- 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. При этом максимально возможные последствия не специфичны для данного события, а применимы к ряду операций, выполняемых на объекте.
- 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.
- Не следует сосредоточивать внимание на сценариях, рассмотренных в обосновании безопасности объекта; следует учитывать физически возможные аварии в случаях, когда оказываются недостаточными все затронутые событием средства обеспечения безопасности.
- При рассмотрении последствий, связанных с облучением персонала, максимально возможные последствия следует, как правило, определять на основе дозы облучения одного лица, так как весьма маловероятно, что несколько работников одновременно получают дозу облучения максимально вероятного уровня.

Эти принципы можно проиллюстрировать следующими примерами:

- 1) При событиях, связанных с блокировками входа в радиационно-опасное помещение (бокс, камеру), максимально возможные последствия скорее всего будут выражаться в облучении персонала. Если уровни радиации достаточно высоки, чтобы вызвать детерминированные эффекты или смерть работника, вошедшего в помещение, и не принимаются меры для смягчения последствий, то оценкой максимально возможных последствий будет уровень 3 или 4 (с учетом критериев доз, получаемых отдельными лицами, которые изложены в подразделе 2.3).
- 2) При событиях на малых исследовательских реакторах (мощностью менее 1 МВт), несмотря на существование физических механизмов рассеивания значительной части материала активной зоны (вследствие аварийной критичности или потери охлаждения топлива), общее количество радиоактивности таково, что оценка максимально возможных последствий не может быть выше уровня 4 даже в случае отказа всех средств обеспечения безопасности.
- 3) При событиях на энергетических реакторах в режиме останова общее количество радиоактивности и возможные механизмы рассеивания значительной ее части (вследствие потери охлаждения или аварийной критичности) таковы, что оценка максимально возможных последствий может быть выше уровня 4 в случае отказа всех средств обеспечения безопасности.
- 4) 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 оценка максимально возможных последствий может быть выше уровня 4 в случае отказа всех средств обеспечения безопасности.
- 5) На предприятиях по изготовлению уранового топлива и по обогащению урана выбросы могут затрагивать химическую и радиационную безопасность. Следует подчеркнуть, что в этом случае химическая вредность, обусловленная токсичностью фтора и урана, преобладает над радиологическими рисками. Однако классификация по шкале ИНЕС отражает оценку только радиологической (радиационной) опасности. Таким образом, выброс урана или его соединений едва ли может вызвать тяжелые (серьезные) последствия, превышающие уровень 4.
- 6) В случае ускорителей максимально возможные последствия скорее всего будут выражаться в непланируемом облучении отдельных лиц. Если уровни радиации достаточно высоки, чтобы вызвать детерминированные эффекты или смерть в случае попадания в зоны ограниченного доступа, то оценкой максимально возможных последствий будет уровень 3 или 4 (с

учетом критериев доз, получаемых отдельными лицами, которые изложены в подразделе 2.3).

- 7) В случае облучательных устройств большинство событий будет связано с непланируемыми дозами облучения. Если уровни радиации в случае отказа всех защитных средств достаточно высоки, чтобы вызвать детерминированные эффекты или смерть, то оценкой максимально возможных последствий будет уровень 3 или 4 (с учетом критериев доз, получаемых отдельными лицами, которые изложены в подразделе 2.3). В случае событий на установках с источниками категории 1, на которых предусмотрены системы безопасности для предотвращения рассеяния (диспергирования) радиоактивного материала (например, противопожарные системы), возможный выброс может быть достаточно большим для того, чтобы привести к максимально возможным последствиям, оцениваемым уровнем 5.

6.2.2. Определение количества эшелонов безопасности

6.2.2.1. Идентификация эшелонов безопасности

На различных установках, которым посвящен данный раздел, используется широкий круг средств обеспечения безопасности. Некоторые из них могут быть постоянными физическими барьерами, другие могут быть основаны на применении блокировок, представлять собой активные инженерно-технические системы, такие как системы охлаждения или впрыска, и базироваться на мерах административного контроля или действиях эксплуатационного персонала в ответ на предупредительные сигналы. Методология оценки событий, связанных с применением такого широкого круга средств обеспечения безопасности, сводится к группированию средства обеспечения безопасности в отдельные и независимые эшелоны безопасности (защиты). Таким образом, если два отдельных сигнала поступают в одно устройство блокировки, то сигналы (индикация) и блокировка вместе представляют собой единый эшелон безопасности. С другой стороны, если охлаждение обеспечивается двумя полностью раздельными насосами, их следует рассматривать как два отдельных эшелона безопасности; исключение составляют случаи, когда у них имеется общая нерезервируемая обеспечивающая система (система функциональной поддержки).

Рассматривая число эшелонов безопасности, необходимо убедиться, что эффективность нескольких отдельных конструкционных (инженерно-технических) эшелонов не снижается общей обеспечивающей системой или общими действиями оперативного персонала в ответ на предупредительную

сигнализацию или индикацию. В таких случаях может оказаться эффективным только один из нескольких конструктивных эшелонов безопасности.

Рассматривая административные меры в качестве эшелонов безопасности, важно проверить, в какой степени отдельные процедуры могут считаться независимыми, и достаточно ли надежна процедура, чтобы служить эшелоном безопасности. Имеющееся в распоряжении время может оказывать значительное влияние на надежность, которая требуется от эксплуатационных процедур (регламентов).

В число эшелонов безопасности могут входить процедуры контроля, однако следует отметить, что контроль сам по себе не образует эшелон безопасности. Необходимы также средства для осуществления корректирующих мер. Трудно дать более подробные указания, и, несомненно, здесь требуется экспертная оценка. В целом предполагается, что эшелон безопасности имеет интенсивность отказов, равную примерно 10^{-2} на требование срабатывания. Чтобы помочь в определении количества независимых эшелонов безопасности, в приведенном ниже перечне указаны некоторые примеры эшелонов безопасности, которые могут быть в наличии, в зависимости от обстоятельств события и обоснования проекта и эксплуатационной безопасности установки:

- электронные индивидуальные дозиметры с сигнализацией при условии, что персонал обучен их использованию, что дозиметр надежен в работе и что персонал может и будет должным образом и достаточно быстро реагировать в соответствующих случаях;
- установленные стационарно детекторы излучения и/или аэрозольной активности и устройства сигнализации при условии, что может быть продемонстрировано, что они являются надежными и что персонал может и будет должным образом и достаточно быстро реагировать в соответствующих случаях;
- присутствие специалиста по радиационной защите для выявления любых отклонений от нормы уровней радиации или распространения радиоактивного загрязнения и оповещения об этом;
- средства обнаружения утечек или течей, действующие в качестве системы локализации, которые направляют материалы в отстойник, оборудованный соответствующими приборами для измерения уровня и/или сигнализации;
- контроль, осуществляемый эксплуатационным персоналом с целью обеспечения уверенности в безопасном состоянии установки при условии, что периодичность проведения контроля достаточна для выявления недостатков в работе и что требующиеся корректирующие меры будут надежно выполнены;

- вентиляционные системы, которые обеспечивают безопасное и контролируемое прохождение аэрозольной активности через установку;
- двери защиты и системы входа с блокировкой;
- естественная вентиляция, “самотяга” или пассивное охлаждение/вентиляция;
- действия, инструкции или регламенты, разработанные для смягчения последствий;
- наличие системы, отличающейся неодинаковостью, при условии отсутствия общих элементов в обеспечивающих или управляющих системах;
- наличие резервирования при условии отсутствия нерезервируемой обеспечивающей системы;
- системы инертизации в качестве средства смягчения последствий выделения водорода на некоторых установках для хранения радиоактивных отходов.

6.2.2.2. Локализация

В некоторых ситуациях локализация сама по себе обеспечивает один или несколько эшелонов безопасности, однако при ее использовании необходимо проявлять определенную осторожность. Как поясняется в подразделе 6.2.1, процесс оценки требует, чтобы максимально возможные последствия классифицировались с включением в одну из трех категорий: уровни 5-7, уровни 3-4 и уровни 1-2. Если после отказа других средств обеспечения безопасности успешное функционирование системы локализации снижает максимально возможные последствия до более низкой категории максимально возможных последствий, то ее следует рассматривать как эшелон безопасности. С другой стороны, если эффект локализации не достаточен для изменения категории максимально возможных последствий, то эту систему не следует считать дополнительным эшелоном безопасности. Например, в случае исследовательского реактора малой мощности максимально возможные последствия, с учетом возможного расплавления топлива и максимального выброса, будут соответствовать уровню 4. Успешное функционирование любой системы локализации не снизит категорию максимально возможных последствий, так как расплавление топлива – это уже уровень 4. Поэтому локализация не будет рассматриваться как дополнительный эшелон безопасности. С другой стороны, примеры 52 и 55 иллюстрируют ситуации, когда следует учитывать локализацию в качестве эшелона безопасности.

6.2.2.3. *Высокоинтегральные эшелоны безопасности*

В некоторых ситуациях формируется высокоинтегральный эшелон безопасности (например: корпус реактора или средства обеспечения безопасности, основанные на естественно протекающих явлениях, таких как конвекционное охлаждение). Очевидно, в тех случаях, когда данный эшелон безопасности достоверно обладает очень высокой конструкционной целостностью (интегральностью) или надежностью, при применении приведенных здесь указаний его не следует рассматривать точно также, как другие эшелоны безопасности.

Высокоинтегральный эшелон безопасности должен иметь следующие характеристики:

- эшелон безопасности рассчитан на преодоление всех проектных недостатков и указан или подразумевается в обосновании безопасности установки как требующий особенно высокого уровня надежности или целостности (интегральности);
- целостность (интегральность) эшелона безопасности обеспечивается соответствующим контролем или проверками, позволяющими выявить любую деградацию целостности;
- на случай обнаружения любого ухудшения состояния эшелона безопасности имеются определенные средства, позволяющие справиться с нарушением и осуществить корректирующие меры – либо по заранее установленным процедурам, либо благодаря длительному времени, имеющемуся в распоряжении для устранения или ослабления последствий нарушения.

Примером высокоинтегрального эшелона безопасности может служить корпус реактора или шахта хранилища. Административные меры обычно не соответствуют требованиям, предъявляемым к высокоинтегральному эшелону безопасности, хотя, как было отмечено выше, некоторые эксплуатационные процедуры тоже могут рассматриваться как высокоинтегральные эшелоны безопасности, если в распоряжении имеется очень длительный период времени для выполнения требующихся мер и исправления возможных ошибок операторов и если имеется также широкий круг возможных мер.

6.2.2.4. *Имеющееся в распоряжении время*

В некоторых ситуациях время, которое имеется в распоряжении, чтобы принять корректирующие меры, может существенно превышать время, необходимое для их выполнения, и поэтому может позволить привести в

готовность (работоспособное состояние) дополнительные эшелоны безопасности. Эти дополнительные эшелоны безопасности могут учитываться, если существуют процедуры для выполнения требуемых мер. В случае, когда несколько таких эшелонов приводится в работоспособное состояние действиями операторов в ответ на сигналы или показания приборов, необходимо рассматривать надежность самой процедуры. Считается, что время, имеющееся в распоряжении для осуществления процедуры, может оказывать значительное влияние на надежность, которая требуется от эксплуатационных процедур (регламентов). (См. примеры в подразделе 6.4.1.)

В некоторых случаях имеющееся в распоряжении время может быть настолько велико, что в готовность может быть приведен целый ряд потенциальных эшелонов безопасности, и в обосновании безопасности нет необходимости детально идентифицировать каждый из них или включать в процедуру подробное описание способов их приведения в готовность. В таких случаях (при условии наличия ряда практически осуществимых мер) имеющийся в распоряжении длительный период времени сам по себе обеспечивает высоконадежный эшелон безопасности.

6.2.3. Оценка базового уровня классификации

6.2.3.1. Процесс оценки

После определения максимально возможных последствий и количества эффективных эшелонов безопасности базовый уровень классификации события определяется следующим образом:

- 1) В анализе безопасности установки указан широкий круг событий, которые были учтены в проекте. Некоторые из этих событий можно обоснованно отнести к категории “ожидаемых” в течение срока эксплуатации установки (т.е. они будут иметь частоту больше $1/N$ в год, где N – срок эксплуатации). Если событием, которое потребовало срабатывания средств обеспечения безопасности, было такое “ожидаемое” событие, а системы безопасности, которые предусмотрены для преодоления этого события, были полностью работоспособны перед событием и действовали должным образом, то базовым уровнем классификации события должна быть оценка “событие ниже шкалы/уровень 0”.
- 2) Аналогичным образом, если действия средств обеспечения безопасности фактически не потребовалось, но было обнаружено их ухудшение, то в качестве базовой следует выбирать оценку “событие ниже шкалы/уровень 0”, но при условии, что пониженная готовность средств

обеспечения безопасности все еще находится в разрешенных (нормативно установленных) пределах.

- 3) При всех других ситуациях следует пользоваться таблицей 11 для определения базового уровня классификации.
- а) Если остается только один эшелон безопасности, но он отвечает всем требованиям, предъявляемым к высокоинтегральному эшелону безопасности (подраздел 6.2.2.3), или имеющийся в распоряжении длительный период времени обеспечивает высоконадежный эшелон безопасности (подраздел 6.2.2.4), то более правильной будет базовая оценка “событие ниже шкалы/уровень 0”¹⁸.
 - б) Если период неготовности эшелона безопасности очень короток по сравнению с интервалом между испытаниями элементов этого эшелона (например, два часа для элемента с ежемесячным испытательным периодом), то следует рассматривать снижение базового уровня классификации события.

ТАБЛИЦА 11. ОЦЕНКА СОБЫТИЙ МЕТОДОМ ЭШЕЛОНОВ БЕЗОПАСНОСТИ

Число сохранившихся эшелонов безопасности	Максимально возможные последствия ^a		
	(1) Уровни 5, 6, 7	(2) Уровни 3, 4	(3) Уровни 2 или 1
A Больше 3	0	0	0
B 3	1	0	0
C 2	2	1	0
D 1 или 0	3	2	1

^a Эти оценки не могут быть повышены с учетом дополнительных факторов, так как они уже представляют верхний предел глубокоэшелонированной защиты.

Этот подход, несомненно, требует определенной экспертной оценки; тем не менее в подразделе 6.3 даны указания, касающиеся событий конкретного типа, а в подразделе 6.4 приведены некоторые рабочие примеры применения метода эшелонов безопасности.

¹⁸ Если работоспособность эшелонов безопасности не соответствовала допустимым пределам, то, согласно указаниям подраздела 6.2.4.3, оценка может быть повышена до уровня 1.

6.2.3.2. Потенциальные события (в том числе конструкционные дефекты)

Некоторые события-происшествия сами по себе не приводят к уменьшению числа эшелонов безопасности, но увеличивают вероятность такого уменьшения. Например, это могут быть обнаруженные конструкционные дефекты или течь, остановленная вмешательством оператора, или сбои, выявленные в системах управления процессом. Подход к оценке таких событий является следующим. Во-первых, следует определить значимость потенциального события, при этом исходя из предположения, что оно фактически произошло, и применяя указания подраздела 6.2.3.1, с учетом числа эшелонов безопасности, которые могут сохраниться. Во-вторых, следует снизить оценку в зависимости от вероятности того, что потенциальное событие может возникнуть в результате происшествия, которое действительно произошло. Уровень, до которого следует снизить классификационную оценку события, должен основываться на экспертной оценке.

Один из наиболее распространенных примеров потенциальных событий – это обнаруженные конструкционные дефекты. Для выявления конструкционных дефектов прежде, чем они станут недопустимыми, применяется соответствующая программа контроля. Если дефект остался в допустимых пределах, то применяется оценка “событие ниже шкалы/уровень 0”.

Если же данный дефект превышает по своим масштабам дефект, ожидаемый в программе контроля, то при классификации такого события нужно учитывать два фактора.

Во-первых, следует определить классификационную оценку потенциального события, при этом исходя из предположения, что данный дефект привел к отказу элемента, и применяя указания подраздела 6.2.3.1. Полученную таким путем классификационную оценку потенциального события следует затем скорректировать в зависимости от вероятности того, что дефект может привести к потенциальному событию, и с учетом дополнительных факторов, которые рассматриваются в подразделе 6.2.4.

6.2.3.3. События ниже шкалы/уровень 0

В целом события следует классифицировать оценкой “событие ниже шкалы/уровень 0” только в том случае, если применение процедур, описанных выше, не приводит к более высокой оценке. Однако, если не применим ни один из дополнительных факторов, рассматриваемых в подразделе 6.2.4, то следующие типы событий обычно оцениваются как “событие ниже шкалы/уровень 0”:

- ложное срабатывание¹⁹ систем безопасности, не затрагивающее безопасность установки, с нормальным возвратом в рабочее состояние;
- незначительная деградация барьеров (интенсивность течи не превышает разрешенных пределов);
- единичные отказы или неработоспособность элементов в резервированной системе, обнаруженные во время плановых периодических инспекций или испытаний.

6.2.4. Рассмотрение дополнительных факторов

Конкретные факторы могут одновременно воздействовать на разные эшелоны (уровни) глубокоэшелонированной защиты и, следовательно, должны рассматриваться как дополнительные факторы, которые могут служить основанием для повышения классификационной оценки события на одну ступень выше базовой оценки, полученной согласно предыдущим указаниям.

К таким основным дополнительным факторам относятся:

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

Вследствие такой корректировки событие может быть оценено уровнем 1, хотя без учета этих дополнительных факторов само по себе оно не имело бы значимости с точки зрения безопасности.

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

- 1) С учетом всех дополнительных факторов оценка события может быть повышена только на одну ступень.
- 2) Некоторые из перечисленных выше факторов могли быть уже включены в базовую оценку (например, общий отказ). Поэтому важно проследить, чтобы такие отказы не учитывались дважды.
- 3) Событие не следует классифицировать выше верхнего предела, полученного в соответствии с подразделом 6.2.1; этот верхний предел следует применять только в тех случаях, когда еще одно событие

¹⁹ 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.

(ожидаемое событие в пределах жизненного цикла установки или отказ еще какого-либо элемента) приводит к аварии.

6.2.4.1. Отказы по общей причине

Отказ по общей причине – это неспособность ряда устройств или элементов выполнять свои функции вследствие единичного конкретного события или одной причины. В частности, он может вызвать отказ резервируемых элементов 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, воздействующее на элемент, который предопределяет потенциальный отказ по общей причине, затрагивающий другие аналогичные элементы, является более серьезным, чем событие, которое связано со случайным отказом элемента.

События, связанные с осложнениями в функционировании некоторых систем из-за недостаточной или неверной информации, также могут рассматриваться с точки зрения повышения уровня оценки вследствие отказа по общей причине.

6.2.4.2. Процедурные несоответствия

Вследствие применения неадекватных процедур одновременному воздействию могут быть подвергнуты несколько эшелонов глубокоэшелонированной защиты. Поэтому такие несоответствия в процедурах тоже могут быть причиной повышения базового уровня классификации события.

6.2.4.3. События с последствиями, связанными с культурой безопасности

Культура безопасности определяется как “набор характеристик и особенностей деятельности организаций и поведения отдельных лиц, который устанавливает, что проблемам защиты и безопасности, 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 эксплуатационный персонал будет действовать не так, как предусмотрено проектом. Поэтому культуру безопасности нужно рассматривать как составную часть глубокоэшелонированной защиты, и, следовательно, недостатки в культуре безопасности могут служить основанием для повышения оценки

события на одну ступень (в документе INSAG-4 [7] содержится дополнительная информация по культуре безопасности).

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

Нарушение разрешенных пределов

Одним из наиболее легко определяемых показателей недостатков в культуре безопасности является нарушение разрешенных (нормативно установленных) пределов, которые могут также именоваться ЭПУ.

На многих установках разрешенные пределы регламентируют минимальную работоспособность систем безопасности, при которой эксплуатация соответствует требованиям к обеспечению безопасности установки. Сюда может также относиться эксплуатация установки с пониженной готовностью систем безопасности в течение ограниченного периода времени. В случае некоторых установок в технические условия (технологические регламенты) включаются разрешенные пределы, и, кроме того на случай несоблюдения требований в них регламентируются необходимые действия с указанием допустимого времени восстановления, а также соответствующего состояния после восстановления.

Если эксплуатационный персонал остается дольше, чем это допускается (по техническим условиям) в режиме пониженной готовности или если он преднамеренно совершает действие, которое приводит к эксплуатационной готовности установки с нарушением разрешенных пределов, в оценке следует учитывать повышение базового уровня классификации события вследствие недостатков в культуре безопасности.

Если обнаруживается, что готовность системы ниже той, которая допускается разрешенными пределами (например, после регламентного испытания), но оперативный персонал немедленно принимает соответствующие меры для приведения установки в безопасное состояние в соответствии с техническими условиями, событие следует оценивать, как указано в подразделе 6.2.3.1, однако при этом оценку не следует повышать, так как требования технических условий выполняются.

В дополнение к официально действующим разрешенным (нормативно установленным) пределам в некоторых странах в технических условиях предусматриваются такие дополнительные требования, как пределы в отношении долгосрочной безопасности элементов. В случае событий, при которых такие пределы превышаются на короткий период времени, более правильной будет оценка “событие ниже шкалы/уровень 0”.

В случае реакторов в режиме останова технические условия также определяют минимальные требования к готовности, но, как правило, не регламентируют время восстановления или состояние после восстановления, так как более безопасное состояние не может быть определено. Установку необходимо приводить в первоначальное состояние в кратчайшие возможные сроки. Снижение эксплуатационной готовности установки ниже требуемого техническими условиями предела не следует считать нарушением разрешенных (нормативно установленных) пределов, если не превышаются предельные сроки.

Другие недостатки в культуре безопасности

Другими примерами показателей недостатков в культуре безопасности могут быть:

- нарушение процедуры без предварительного разрешения;
- недостатки в процессе обеспечения качества;
- накопление человеческих ошибок;
- облучение лица из населения в результате единичного события, превышающее установленные пределы годовой дозы;
- суммарное облучению персонала или лиц из населения, превышающее установленные пределы годовой дозы;
- несоблюдение надлежащего контроля за радиоактивными материалами, включая выбросы в окружающую среду, распространение радиоактивного загрязнения или нарушение в системах дозиметрического контроля;
- повторение события, свидетельствующее о том, что оператор надлежащим образом не извлек соответствующие уроки или не принял корректирующих мер после первого подобного события.

Важно отметить, что указания настоящего раздела не преследуют цель инициировать длительный и детальный анализ, они позволяют учесть экспертные оценки, которые могут быть оперативно сделаны лицами, классифицирующими данное событие. Часто трудно сразу же после события определить необходимость повышения классификационной оценки события из-за недостаточной культуры безопасности. В этом случае следует давать предварительную классификационную оценку на основе того, что известно на данный момент времени, а в конечной оценке впоследствии может быть учтена дополнительная информация, касающаяся культуры безопасности, которая будет получена в результате детального исследования.

6.3. УКАЗАНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ МЕТОДА ЭШЕЛОНОВ БЕЗОПАСНОСТИ В СЛУЧАЕ СОБЫТИЙ КОНКРЕТНОГО ТИПА

6.3.1. События с отказами в системы охлаждения во время останова реактора

Большинство систем безопасности реактора рассчитано на то, чтобы справляться с исходными событиями, происходящими во время работы на мощности. События в условиях “горячего” останова или пуска весьма сходны с событиями во время работы на мощности, и оценивать их следует так, как указано в Разделе 5. Когда реактор остановлен, некоторые из этих систем безопасности еще требуются, чтобы обеспечивать выполнение функций безопасности, но обычно в этом случае в распоряжении остается больше времени. С другой стороны, это время, имеющееся в распоряжении для “ручных” действий, может заменить собой часть мер безопасности, таких как резервирование или неодинаковость (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. В таких условиях останова конфигурации барьеров иногда существенно отличается (например, открытый первый контур, открытая защитная оболочка). В силу этих причин в случае остановленных реакторов применяется другой подход к оценке событий (т.е. метод эшелонов безопасности).

К основным факторам, влияющим на оценку, относятся число предусмотренных каналов охлаждения, время, имеющееся в распоряжении для корректирующих мер, и целостность любой системы трубопроводов, предназначенной для охлаждения корпуса реактора. Несколько примеров, относящихся к водо-водяным энергетическим реакторам, представлены в подразделе 6.4.1 (примеры 41-46) в качестве руководства по классификационной оценке событий методом эшелонов безопасности. В случае реакторов других типов эти примеры нужно использовать как иллюстративные вместе с изложенными в подразделе 6.2 указаниями по классификации соответствующих событий.

6.3.2. События с отказами в системах охлаждения, затрагивающими 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 в диапазоне от 0 до уровня 3.

Благодаря большому объему воды и относительно малой интенсивности остаточного тепловыделения обычно в распоряжении имеется вполне достаточно времени, чтобы принять корректирующие меры в случае событий, связанных с ухудшением охлаждения бассейна выдержки отработавшего топлива. Это относится и к потере теплоносителя в бассейне выдержки отработавшего топлива, 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 как событие ниже шкалы/уровень 0.

Режим с отклонением от ЭПУ, существенное повышение температуры или снижение уровня воды в бассейне выдержки отработавшего топлива следует классифицировать как событие уровня 1.

Признаком уровня 2 может быть широко распространившееся кипение теплоносителя или начало осушения твэлов. Существенное осушение твэлов явно указывают на уровень 3.

6.3.3. Контроль критичности

Поведение критической системы и 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. В случае таких установок максимально возможные последствия могут превышать уровень 4.

Применительно к другим установкам главную опасность при резком увеличении критичности представляют сильные поля прямого нейтронного и гамма-излучения, приводящие к облучению персонала. Другим последствием может быть выброс в атмосферу короткоживущих радиоактивных продуктов деления и вероятное сильное загрязнение в пределах установки. В случае этих двух сценариев максимально возможные последствия будут на уровне 3 или 4.

В соответствии с этими общими указаниями:

- незначительные отклонения от безопасного режима критичности без нарушения разрешенных пределов следует классифицировать как “событие ниже шкалы/уровень 0”;
- режим с отклонением от разрешенных пределов следует классифицировать по меньшей мере как событие уровня 1;
- событие, при котором увеличение критичности могло бы возникнуть вследствие еще одного отказа в средствах обеспечения безопасности или небольшого изменения условий, следует оценивать как событие уровня 2 в случае установок с максимально возможными последствиями на уровне 3 или 4. Если максимально возможные последствия могут достигать уровня 5 и выше, то событие следует классифицировать уровнем 3.

Если сохраняется больше одного эшелона безопасности, то правильным будет более низкий уровень события, и для определения соответствующей классификационной оценки следует использовать таблицу 11.

6.3.4. Неразрешенный сброс или распространение радиоактивного загрязнения

Любое событие, которое сопровождается переносом радиоактивного вещества и приводит к радиоактивному загрязнению, превышающему уровень расследования для данной зоны, может быть классифицировано как событие уровня 1 с учетом недостатков в культуре безопасности (подраздел 6.2.4, “несоблюдение надлежащего контроля за радиоактивными материалами”). Уровни радиоактивного загрязнения сверх разрешенного предела для данной зоны следует оценивать на уровне 1. Более существенные нарушения мер обеспечения безопасности следует классифицировать с учетом максимально возможных последствий, если произойдет отказ всех средств обеспечения безопасности, но число эшелонов безопасности сохранится.

Нарушения разрешений на сброс следует классифицировать по меньшей мере как событие уровня 1.

6.3.5. Дозиметрический контроль

Иногда могут возникать ситуации, когда процедуры радиационного контроля и административные меры оказываются недостаточными и работники получают непланируемые дозы облучения (внутреннего и внешнего). Такие события могут быть классифицированы как событие уровня 1 в соответствии с подразделом 6.2.4 (несоблюдение надлежащего контроля за радиоактивными материалами). Если в результате события суммарная доза превысила

разрешенные (нормативно установленные) пределы, то его следует оценивать по меньшей мере на уровне 1 как нарушение разрешенных пределов.

В целом указания подраздела 6.2.4 не следует применять для повышения оценки событий, связанных с нарушениями дозиметрического контроля, выше базового уровня 1. Иначе события, при которых облучение было предотвращено, будут классифицироваться тем же уровнем, что и события, при которых действительно имели место значительные дозы облучения свыше установленных пределов. Вместе с тем правильной будет оценка по воздействию на глубокоэшелонированную защиту на уровне 2, если остается один эшелон безопасности или не сохраняется ни одного эшелона, и максимально возможные последствия оцениваются на уровне 3 или 4 в случае отказа всех средств обеспечения безопасности.

6.3.6. Блокировки 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 защитной блокировки таких дверей может быть вызван обесточиванием и/или дефектами в датчике (датчиках) или связанной с ними электронной аппаратуре, или ошибками человека.

Поскольку максимально возможные последствия при таких событиях ограничены уровнем 4, события, в случае которых еще один отказ в средствах безопасности мог бы привести к аварии, следует классифицировать на уровне 2. События, при которых происходит отказ некоторых средств обеспечения безопасности, но сохраняются дополнительные эшелоны безопасности, включая административную регламентацию допуска, оцениваются уровнем 1.

6.3.7. Отказы систем вытяжной вентиляции, фильтрации и очистки

На установках, работающих со значительными количествами радиоактивного материала, может быть до трех отдельных, но связанных между собой систем вытяжной вентиляции. Они поддерживают градиент давления между различными емкостями, 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 (HEPA) или скрубберы, чтобы уменьшить выбросы в

атмосферу до заданных пределов и предупредить обратную диффузию в зоны с меньшей радиоактивностью.

При классификации событий, связанных с выходом из строя таких систем, первый этап состоит в определении максимально возможных последствий при отказе всех средств обеспечения безопасности. В этом случае следует рассматривать имеющееся количество материала и возможные способы его рассеивания на площадке и за пределами установки. Необходимо также оценивать вероятность снижения концентрации нейтральных газов или образования взрывоопасных смесей. Если взрыв невозможен, то в большинстве случаев маловероятно, что максимально возможные последствия превысят уровень 4, так что максимальной оценкой по состоянию глубокоэшелонированной защиты будет уровень 2.

На втором этапе определяется число остающихся эшелонов безопасности, включая процедуры, предотвращающие дальнейшее выделение активности при прекращении работ.

Классификация таких событий иллюстрируется примером 52 в подразделе 6.4.2.

6.3.8. События при грузовых операциях и падение тяжелых грузов

6.3.8.1. События, не затрагивающие топливных сборок

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

События, в случае которых 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 более серьезные последствия, оцениваются максимальным уровнем по состоянию глубокоэшелонированной защиты с учетом максимально возможных последствий. Аналогичным образом, максимальным уровнем следует также классифицировать события, при которых остается только один эшелон безопасности, предотвращающий повреждение, за исключением случаев, когда этот эшелон безопасности является особенно высоконадежным или характеризуется высокой целостностью (интегральностью).

События, при которых указанная вероятность меньше или имеются дополнительные эшелоны безопасности, следует оценивать согласно указаниям подраздела 6.2.

Незначительные события при грузовых операциях, которые можно ожидать на протяжении жизненного цикла установки, классифицируются как событие ниже шкалы/уровень 0.

6.3.8.2. События при обращении с топливом

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

В случае облученного топлива, количество радиоактивных продуктов в отдельном твэле гораздо меньше, чем в бассейне выдержки отработавшего топлива или в активной зоне реактора, и, следовательно, максимально возможные последствия будут меньше.

Охлаждение твэлов обеспечивает наличие важного эшелона безопасности, так как целостность топливной матрицы не может быть нарушена перегревом. Как правило, для перегрева топлива требуется очень длительное время. В большинстве случаев, в зависимости от конфигурации установки, эшелоном безопасности является и защитная оболочка.

События, *ожидаемые* на протяжении жизненного цикла установки, которые не влияют на охлаждение отработавшего твэла, если при этом утечка радиоактивности незначительна или вообще отсутствует, обычно классифицируются как событие ниже шкалы/уровень 0.

Классификацию на уровне 1 следует рассматривать в случае:

- событий, не ожидаемых на протяжении жизненного цикла установки;
- событий, связанных с отклонением от разрешенных пределов;
- событий, связанных с ограниченным ухудшением охлаждения, не нарушающим целостности топливных стержней;
- событий, связанных с механическим нарушением целостности топливных стержней без ухудшения охлаждения.

Оценку на уровне 2 можно считать правильной в случае событий, при которых нарушается целостность топливного стержня вследствие значительного нагрева твэла.

6.3.9. Потеря электроснабжения

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

Чтобы классифицировать события, сопровождающиеся потерей внешних источников электроснабжения или отказами в системах электропитания на площадке, нужно использовать указания подраздела 6.2, учитывая при этом степень работоспособности сохранившихся источников, время, в течение которого отказавшие источники были неработоспособны, и максимально возможные последствия. Особенно важно учитывать допустимое время задержки до восстановления электроснабжения.

На некоторых установках даже полная потеря электроснабжения, продолжающаяся несколько суток, не должна оказывать отрицательного влияния на безопасность, и такие события на этих установках следует, как правило, классифицировать как событие ниже шкалы/уровень 0 или на уровне 1, поскольку в этом случае для восстановления энергоснабжения за имеющееся в распоряжении время существует несколько возможностей. Правильной будет оценка на уровне 1, если готовность систем безопасности не соответствует разрешенным пределам.

Частичная потеря электроснабжения или потеря питания от нормальной сети при наличии работоспособных систем резервного электроснабжения является событием, “ожидаемым” на протяжении жизненного цикла установки, и поэтому его следует классифицировать как событие ниже шкалы/уровень 0.

6.3.10. Пожары и взрывы

Пожар или взрыв на объекте или вблизи него, который не может ухудшить состояние каких-либо средств обеспечения безопасности, не классифицируется по шкале, либо оценивается как событие ниже шкалы/уровень 0. Пожары, потушенные стационарными системами защиты, сработавшими в соответствии с проектными требованиями, следует оценивать аналогичным образом.

Значимость пожаров и взрывов на ядерных установках зависит не только от присутствующего материала, но и от местонахождения, а также доступности для возможных операций пожаротушения. Классификационная оценка зависит

от максимально возможных последствий и от числа и эффективности сохраняющихся эшелонов безопасности, включая противопожарные барьеры, системы пожаротушения и отдельные системы безопасности. Оценивая эффективность оставшихся эшелонов защиты, следует учитывать вероятность того, что их состояние могло ухудшиться.

Любой пожар или взрыв, затрагивающий низкоактивные отходы, следует классифицировать как событие уровня 1 из-за недостатков в процедурах или культуре безопасности.

6.3.11. Внешние опасности

Возникновение внешних опасностей, таких как внешние пожары, наводнения, цунами, внешние взрывы, ураганы, смерчи, торнадо или землетрясения, можно классифицировать так же, как и другие события, рассматривая эффективность сохранившихся средств обеспечения безопасности.

При классификации событий, которые связаны с отказами в системах, специально предназначенных для защиты от таких опасностей, следует оценивать число эшелонов безопасности, учитывая при этом вероятность возникновения данной опасности в период неготовности системы. В случае большинства установок ввиду низкой ожидаемой частоты возникновения таких опасностей маловероятно, что применяемая классификационная оценка может превысить уровень 1.

6.3.12. Отказы в системах охлаждения

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

В случае отказов в системах охлаждения хранилища высокоактивных жидких отходов или плутония для событий, при которых на значительный период времени сохраняется только один эшелон безопасности, очевидно, следует применять классификационную оценку на уровне 3.

6.4. РАБОЧИЕ ПРИМЕРЫ

6.4.1. События на остановленном энергетическом реакторе

Пример 41. Потеря охлаждения во время останова вследствие повышения давления теплоносителя — событие ниже шкалы/уровень 0

Описание события

Расхолаживание осуществлялось циркуляцией теплоносителя через два теплообменника отвода остаточного тепла (ООТ) с отдельными всасывающими трубопроводами и двумя запорными клапанами на каждом из них. Клапаны в каждой канале управлялись отдельными датчиками давления и действовали по команде со щита управления. Первый контур замкнут. Парогенераторы также работоспособны, что обеспечивало очень медленный рост температуры вследствие потери ООТ. Аварийный впрыск не готов, насосы высокого давления изолированы от подпиточных насосов, а предохранительные клапаны способны регулировать давление в первом контуре.

Средства обеспечения безопасности иллюстрируются схемой на рис. 1.

Событие произошло, когда в результате повышения давления теплоносителя запорные клапаны закрылись. Сигнализация на щите управления известила оператора о закрытии клапанов, и после снижения давления клапаны были снова открыты. Температура не поднялась выше пределов, допустимых эксплуатационными пределами и условиями.

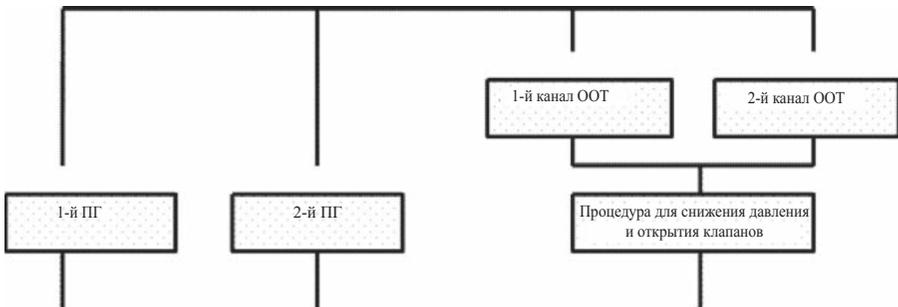


РИС.1. Схема, иллюстрирующая средства обеспечения безопасности в примере 41

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2. и 3. Фактические последствия	Фактических последствий в результате данного события не было.
6.2.1. Максимально возможные последствия	Максимально возможные последствия для события, связанного с остановленным энергетическим реактором, классифицируются уровнем 5-7.
6.2.2. Определение количества эшелонов безопасности	В данном случае было четыре конструкционных (инженерно-технических) эшелона, и при условии, что парогенераторы остаются в состоянии готовности, в распоряжении операторов было много времени для осуществления необходимых действий – этот период времени был достаточен даже для выполнения ремонта системы ООТ. Благодаря имеющимся в распоряжении длительным периодам времени процедуру последующего открытия клапанов можно считать более надежной, чем один эшелон безопасности, и все четыре эшелона можно рассматривать как независимые.
6.2.3. Оценка базового уровня классификации	Согласно таблице 11, получается классификационная оценка – событие ниже шкалы/уровень 0.
Общая оценка	Событие ниже шкалы/уровень 0.

Пример 42. Потеря охлаждения из-за ложного срабатывания датчиков давления — событие ниже шкалы/уровень 0

Описание события

Расхолаживание осуществлялось циркуляцией теплоносителя через один теплообменник отвода остаточного тепла (ООТ) с одним всасывающими трубопроводом и двумя запорными клапанами. Клапаны действовали по команде со щита управления. Первый контур разомкнут и шахта реактора заполнена водой. Реактор был в остановленном состоянии в течение одной недели, поэтому любой разогрев теплоносителя был бы очень медленным. Парогенераторы были открыты для выполнения работ на них и, следовательно, неработоспособны. Аварийный впрыск выведен из состояния готовности, насосы высокого давления для впрыска пара изолированы от подпиточных

насосов, а предохранительные клапаны находятся в состоянии готовности, чтобы регулировать давление в первом контуре.

Событие произошло, когда в результате ложного срабатывания датчиков давления запорные клапаны закрылись. Сигнализация на щите управления известила оперативный персонал о закрытии клапанов, и после проверки того, что сигнал роста давления был ложным, клапаны были снова открыты. Температура не поднялась выше пределов, допустимых эксплуатационными пределами и условиями – для достижения эксплуатационных пределов потребовалось бы 10 ч.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2. и 3. Фактические последствия	Фактических последствий в результате данного события не было.
6.2.1. Максимально возможные последствия	Максимально возможные последствия для события, связанного с остановленным энергетическим реактором, классифицируются уровнем 5-7.
6.2.2. Определение количества эшелонов безопасности	<p>Для функции безопасности “охлаждение топлива” здесь имеется два эшелона безопасности. Первый из них – это система ООТ, а второй – очень длительный период времени, имеющийся в распоряжении для добавления воды, чтобы поддерживать ее уровень, поскольку при испарении происходит потеря воды и тепла.</p> <p>Второй эшелон можно считать высоконадежным по следующим соображениям (подраздел 6.2.2.4):</p> <ul style="list-style-type: none"> — оператор располагает длительным временем для требуемых действий (по меньшей мере 10 ч для достижения эксплуатационных пределов); — имеется несколько способов пополнения запаса воды (например, аварийный впрыск низкого давления, пожарные шланги и т.д.), хотя при этом необходимо контролировать концентрацию бора; — в обосновании безопасности этот эшелон безопасности определяется как ключевое средство обеспечения безопасности. <p>Кроме того, имеющееся в распоряжении время достаточно для ремонта системы ООТ в случае необходимости.</p>

Объяснение оценки

6.2.3. Оценка базового уровня классификации	Согласно указаниям подраздела 6.2.3.1, получается классификационная оценка — событие ниже шкалы/уровень 0.
Общая оценка	Событие ниже шкалы/уровень 0.

Пример 43. 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 второй секции защитной системы ядерной безопасности в результате неправильно проводимого техобслуживания. Альтернативный источник питания был отключен при проведении работ по техобслуживанию. 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 ч после исходного события (закрытия клапанов).

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2. и 3. Фактические последствия	Фактических последствий в результате данного события не было.
6.2.1. Максимально возможные последствия	Максимально возможные последствия для события, связанного с остановленным энергетическим реактором, классифицируются уровнем 5-7.
6.2.2. Определение количества эшелонов безопасности	В данном случае в распоряжении оставалось очень длительное время, прежде чем могли бы наступить такие существенные последствия, как деградация активной зоны или значительные дозы облучения. Такое имеющееся в распоряжении длительное время позволяет осуществить широкий круг мер, чтобы исправить ситуацию, и поэтому может рассматриваться как высоконадежный эшелон безопасности, как указано в подразделе 6.2.2.4.
6.2.3. Оценка базового уровня классификации	Базовый уровень классификации – событие ниже шкалы/уровень 0.
6.2.4. Дополнительные факторы	В результате неправильно проводимого техобслуживания конфигурация реактора перестала соответствовать ЭПУ, поэтому классификационная оценка была повышена до уровня 1.
Общая оценка	Уровень 1.

Если бы тепловыделение не было очень медленным, то имеющееся в распоряжении время было бы значительно короче, и его нельзя было бы рассматривать как высокоинтегральный эшелон безопасности. В таком случае эффективными эшелонами безопасности являются:

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

Поскольку сохраняются два эшелона безопасности, событие в этом случае оценивается уровнем 2. Оценка не повышается до уровня 3, так как один последующий отказ не приведет к аварии (см. подраздел 6.2.4).

Пример 44. Потеря охлаждения во время останова вследствие повышения давления теплоносителя — уровень 2

Описание события

Конструктивная схема такая же, как в примере 41, но парогенераторы открыты для проведения работ и поэтому находятся в состоянии неготовности. Средства обеспечения безопасности иллюстрируются схемой на рис. 2. Рассматриваемое событие произошло через некоторое время после того, как реактор был остановлен, когда повышение давления теплоносителя привело к тому, что запорные клапаны ООТ закрылись. Сигнализация на щите управления известила оперативный персонал о закрытии клапанов, и после снижения давления клапаны были снова открыты. Температура не поднялась выше пределов, допустимых ЭПУ. Тепловыделение было достаточно медленным – для достижения эксплуатационных пределов потребовалось бы 5 ч.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2. и 3. Фактические последствия	Фактических последствий в результате данного события не было.
6.2.1. Максимально возможные последствия	Максимально возможные последствия для события, связанного с остановленным энергетическим реактором, классифицируются уровнем 5-7.
6.2.2. Определение количества эшелонов безопасности	Средства обеспечения безопасности показаны на рис. 2. Имеется два конструкционных (инженерно-технических) эшелона безопасности и один административный (программный) эшелон безопасности, функционирующих в последовательной цепи, и в распоряжении имеется 5 ч для осуществления необходимых действий. Благодаря имеющемуся в распоряжении длительному периоду времени эксплуатационную процедуру и действия оперативного персонала можно считать более надежным уровнем защиты, чем один эшелон безопасности. В данном случае ограничительный аспект средств обеспечения безопасности – это наличие двух конструкционных эшелонов.
6.2.3. Оценка базового уровня классификации	Согласно таблице 11 наличие двух конструкционных эшелонов означает, что событие следует оценивать уровнем 2.
Общая оценка	Уровень 2.



Рис. 2. Схема, иллюстрирующая эшелоны безопасности в примерах 44 и 46

Пример 45. Потеря охлаждения из-за ложного срабатывания датчиков давления — уровень 3

Описание события

В этом примере конструктивная схема такая же, как и в примере 42, но событие произошло вскоре после того, как реактор был остановлен. Расхолаживание осуществлялось циркуляцией теплоносителя через один теплообменник ООТ с одним всасывающими трубопроводом и двумя запорными клапанами. Первый контур был замкнут. В случае закрытия запорных клапанов температура теплоносителя повышается, однако для достижения недопустимых температур требуется приблизительно один час. Клапаны действовали по команде со щита управления. Парогенераторы открыты для выполнения работ на них и, следовательно, неработоспособны. Аварийный впрыск выведен из состояния готовности, насосы высокого давления для впрыска изолированы от подпиточных насосов, а предохранительные клапаны находятся в состоянии готовности, чтобы регулировать давление в первом контуре.

Событие произошло, когда в результате ложного срабатывания датчиков давления запорные клапаны закрылись. Сигнализация на щите управления

известила оперативный персонал о закрытии клапанов, и после проверки того, что сигнал роста давления был ложным, клапаны были снова открыты. Температура не поднялась выше пределов, допустимых в ЭПУ.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2. и 3. Фактические последствия	Фактических последствий в результате данного события не было.
6.2.1. Максимально возможные последствия	Максимально возможные последствия для события, связанного с остановленным энергетическим реактором, классифицируются уровнем 5-7.
6.2.2. Определение количества эшелонов безопасности	<p>Единственный эшелон безопасности в этом случае – это охлаждение теплоносителя первого контура через один всасывающий трубопровод системы ООТ. В этом случае также необходимо рассмотреть конструкционные и процедурные аспекты эшелона безопасности. Рассмотрим сначала меры, которые требуются для восстановления охлаждения. Оперативный персонал должен быть уверен в том, что сигнал роста давления является ложным и что в случае, если повышение температуры теплоносителя привело к последующему повышению давления, это давление должно быть снижено. Процедура восстановления ООТ после закрытия клапанов имела. Операция может быть выполнена в течение имеющегося в распоряжении времени, но не с большим запасом безопасности. Применительно к конструкционным средствам отказ любого клапана вновь открыться приведет к неготовности эшелона безопасности. Кроме того, разумеется, в распоряжении нет времени, достаточного для выполнения ремонта в случае отказа клапанов открыться.</p> <p>В силу этих причин один эшелон не может считаться высоконадежным эшелонem безопасности даже несмотря на то, что это был единственный эшелон, предусмотренный конструкцией. Необходимость открытия обоих запорных клапанов для восстановления подачи теплоносителя, естественно, является фактором, ограничивающим надежность эшелона безопасности.</p>

Объяснение оценки

6.2.3. Оценка базового уровня классификации	В состоянии готовности находится только один эшелон безопасности, и поэтому, согласно таблице 11, классификационная оценка будет на уровне 3.
Общая оценка	Уровень 3.

Пример 46. Потеря охлаждения во время останова вследствие повышения давления теплоносителя — уровень 3

Описание события

В этом примере конструктивная схема установки такая же, как и в примере 44, но событие произошло вскоре после того, как реактор был остановлен, когда повышение давления теплоносителя привело к тому, что запорные клапаны ООТ закрылись. Средства обеспечения безопасности иллюстрируются схемой на рис. 2.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2. и 3. Фактические последствия	Фактических последствий в результате данного события не было.
6.2.1. Максимально возможные последствия	Максимально возможные последствия для события, связанного с остановленным энергетическим реактором, классифицируются уровнем 5-7.
6.2.2. Определение количества эшелонов безопасности	Очевидно, что в данном случае имеется два эшелона безопасности, относящиеся к конструкционным (инженерно-техническим) средствам. Однако функционирование обоих эшелонов зависит от действий операторов, которые должны снова открыть клапаны. Надежность средств обеспечения безопасности ограничивается необходимостью действий со стороны эксплуатационного персонала. Учитывая сложность операции и имеющееся в распоряжении ограниченное время, можно сделать вывод, что в данном случае имеется только один эффективный эшелон безопасности (т.е. эксплуатационная процедура, предусматривающая снижение давления и последующее открытие запорного клапана).

Объяснение оценки

6.2.3. Оценка базового уровня классификации	Согласно таблице 11, правильной будет классификационная оценка – уровень 3.
Общая оценка	Уровень 3.

6.4.2. События на установках, не являющихся энергетическими реакторами

Пример 47. Повышение давления в незаполненном объеме аппарата для растворения твэлов — событие ниже шкалы/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. Выброса аэрозольных загрязнений в рабочую зону установки или в окружающую среду не было.

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

Критерии	Объяснение
2. и 3. Фактические последствия	Фактических последствий в результате данного события не было.
6.2.1. Максимально возможные последствия	Максимально возможные последствия для события, связанного с перерабатывающей установкой, классифицируются уровнем 5-7.
6.2.2. Определение количества эшелонов безопасности	Ввиду отклонения в технологическом режиме процесс был автоматически остановлен. Все стадии остановки прошли нормально. Эшелоны безопасности нарушены не были.
6.2.3. Оценка базового уровня классификации	Согласно пункту (1) подраздела 6.2.3.1, получается классификационная оценка – событие ниже шкалы/уровень 0.

Объяснение оценки

6.2.4. Дополнительные факторы	Основания для повышения оценки события нет.
Общая оценка	Событие ниже шкалы/уровень 0.

Пример 48. Потеря охлаждения в исследовательском реакторе малой мощности — событие ниже шкалы/уровень 0

Описание события

Событие произошло на исследовательском реакторе мощностью 100 кВт, имеющем большой бассейн охлаждения и систему очистки с теплообменником, как показано на рис. 3. В случае потери охлаждения разогрев воды будет чрезвычайно медленным.

Оказался неисправен трубопровод за насосом, и вода откачивалась до нижнего конца всасывающей трубы. Затем отказал и насос вследствие кавитации.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2. и 3.: Фактические последствия	Фактических последствий в результате данного события не было.
6.2.1. Максимально возможные последствия	В данном случае рассматриваются две функции безопасности. Одна – охлаждение топлива, а другая – защита персонала от высоких доз облучения. 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.

Объяснение оценки

6.2.2. Определение количества эшелонов безопасности	<p>Для функции охлаждения проектом предусмотрены три эшелона безопасности. 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. При этом очевидно, что именно объем воды служит основным эшелоном безопасности. Его можно считать высокоинтегральным эшелоном безопасности по следующим соображениям:</p> <ul style="list-style-type: none">— приток тепла мал по сравнению с объемом воды, так что разогрев, если и возможен, то будет чрезвычайно медленным. Потребовалось бы много суток, чтобы уровень воды значительно понизился;— любое понижение уровня воды легко обнаруживается эксплуатационным персоналом, и потерю воды можно восполнить несколькими простыми способами;— в обосновании безопасности установки он определяется как ключевой эшелон безопасности, и доказана его целостность (интегральность). Всасывающий трубопровод теплообменника тщательно рассчитан так, чтобы гарантировать сохранение достаточного запаса воды.
6.2.3. Оценка базового уровня классификации	<p>Базовый уровень классификации можно считать нулевым, поскольку сохраняется два эшелона безопасности, один из них является высокоинтегральным. Что касается функции безопасности “защита”, то сохраняется только один эшелон безопасности, но он тоже является высокоинтегральным, так как сохраняющийся уровень воды у нижнего конца всасывающей трубы обеспечивает достаточную защиту.</p>
6.2.4. Дополнительные факторы	<p>Основания для повышения оценки события нет.</p>
Общая оценка	<p>Событие ниже шкалы/уровень 0.</p>

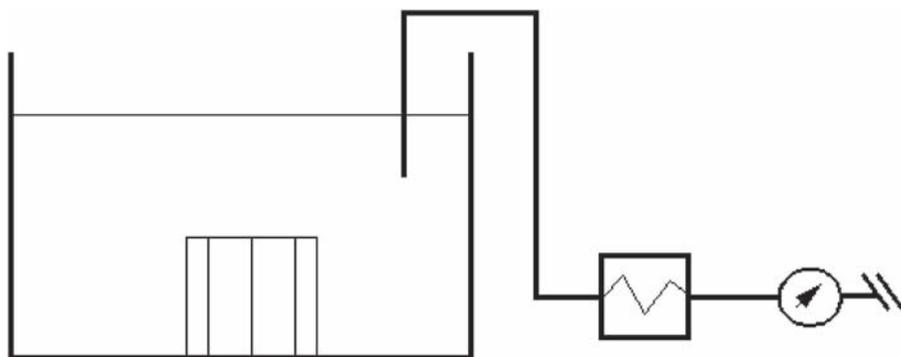


РИС.3. Схема системы охлаждения в примере 48

Пример 49. Высокие уровни излучения на установке по рециклированию ядерного материала — событие ниже шкалы/уровень 0

Описание события

Оперативный персонал и специалист по радиационной защите выполняли операцию по отбору проб на установке, на которой хранилась высокорadioактивная жидкость. Для этой работы имелись особые инструкции и было обеспечено специальное оборудование, и лица, проводившие эту работу, имели соответствующую подготовку и получили инструктаж. При осуществлении данной операции весь другой персонал был удален из обширной, четко определенной и строго контролируемой зоны вокруг фактического места выполнения работы.

Во время выполнения работы возникшая в оборудовании неисправность привела к тому, что небольшое количество высокорadioактивной жидкости попало в не имеющую защиты трубу, в результате чего в прилегающих к ней помещениях возникли высокие уровни радиации.

Весь персонал был снабжен индивидуальными дозиметрами со звуковой сигнализацией, и при срабатывании сигнализации этих дозиметров и нескольких стационарных систем обнаружения излучения в зоне люди были немедленно эвакуированы из этой зоны.

Последующая оценка показала, для большинства облученных лиц мощность дозы составила 350 мЗв/ч, и они получили эффективную дозу 350 мкЗв.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2. и 3. Фактические последствия	Операция по отбору проб осуществлялась в зоне, в которой был особый контроль доступа и обеспечивались особые меры безопасности из-за потенциальной опасности высокой активности. Поэтому критерии мощности дозы для уровня 2, применимые “в рабочей зоне”, не могут применяться (см. подраздел 3.2, который определяет рабочие зоны как “участки, куда разрешен доступ персоналу без специальных пропусков. К ним не относятся участки, в которых требуются специальные меры контроля (помимо общих требований в отношении использования индивидуальных дозиметров и/или ношения комбинезонов) ввиду уровня радиоактивного загрязнения или радиации.”
6.2.1. Максимально возможные последствия	Максимально возможные последствия для данной активности были дозы облучения, более чем в десять раз превышающие годовой предел (т.е. уровень 3).
6.2.2. Определение количества эшелонов безопасности	Определяя число независимых эшелонов безопасности, необходимо отдельно рассматривать сигналы и показания приборов (детекторов и устройств сигнализации), а также реагирование оперативного персонала. В наличии было четыре независимых эшелона безопасности в виде показаний и звуковых сигналов. К ним относятся: <ul style="list-style-type: none">— электронные индивидуальные дозиметры. Было подтверждено, что они были в состоянии <i>полной</i> работоспособности и функционировали надлежащим образом;— стационарные гамма-детекторы и устройства сигнализации. Они были в состоянии <i>полной</i> работоспособности, и сигнализация сработала при наступлении события;— стационарные сигнализаторы аэрозольной активности. Они реагируют на высокие уровни гамма-излучения, и подаваемые ими сигналы тревоги требуют немедленной эвакуации персонала из зоны;— присутствие специалиста по радиационной защите с детектором излучения. Главной задачей этого специалиста было обеспечение контроля уровней излучения во время операции по отбору проб и консультирование по соответствующим вопросам. Это не потребовалось, так как уже была начата эвакуация эксплуатационного персонала.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
	Каждый из указанных эшелонов требовал, чтобы эксплуатационный персонал соответствующим образом отреагировал на звуковые сигналы или словесные команды. Было подтверждено, что эксплуатационный персонал регулярно проходил переподготовку и не имел замечаний в связи с неправильным реагированием. На месте находились более чем одно лицо и дополнительно специалист по радиационной защите, и с учетом особого характера деятельности и требуемого уровня подготовки и инструктажа, делается вывод, что их можно рассматривать как по меньшей мере три независимых эшелона безопасности. Вероятность того, что все эти лица проигнорируют все сигналы тревоги, является чрезвычайно низкой.
6.2.3. Оценка базового уровня классификации	Согласно таблице 11, в данном случае имеется три эшелона безопасности, и базовый уровень классификации соответствует уровню 1.
6.2.4. Дополнительные факторы	Основания для повышения оценки события нет.
Общая оценка	Событие ниже шкалы/уровень 0.

Пример 50. Работник получил интегральную дозу на все тело выше нормативного предела — уровень 1

Описание события

Доза облучения на все тело, полученная оператором установки на конец декабря, оказалась больше разрешенной (допустимой) или ожидаемой величины, но ниже граничной дозы. В результате, хотя доза от осуществляемых операций была низкой, интегральная доза на все тело превысила нормативно установленный годовой предел.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2. и 3. Фактические последствия	Уровень дозы от фактического события был ниже значения, указанного в Разделе 2 для фактических последствий (т.е. меньше граничной дозы).
6.2.1. Максимально возможные последствия	Максимально возможные последствия для события, связанного с облучением работника, классифицируются уровнем 4.
6.2.2. Определение количества эшелонов безопасности	Базовый уровень классификации – событие ниже шкалы/уровень 0, поскольку не было деградации эшелонов безопасности, предупреждающих получение персоналом значительных доз.
6.2.3. Оценка базового уровня классификации	Согласно таблице 11, получается классификационная оценка – событие ниже шкалы/уровень 0.
6.2.4. Дополнительные факторы	Так как годовой предел интегральной дозы на все тело был превышен, событие следует оценить уровнем 1 (подраздел 6.2.4.3).
Общая оценка	Уровень 1.

Пример 51. Неудовлетворительный контроль критичности — уровень 1

Описание события

Плановая 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. В отношении дополнительного пластмассового контейнера имелось требование, согласно которому “никакой дополнительный водородсодержащий материал, кроме разрешенной упаковки” не должен помещаться на склад. Однако это требование не было четко предписано для данного склада топлива. Дальнейшее расследование показало, что сертификат контроля критичности сформулирован неясно, и связанная с ним оценка критичности не вполне понятна с точки зрения требований безопасности.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2. и 3. Фактические последствия	Фактических последствий в результате данного события не было.
6.2.1. Максимально возможные последствия	Максимально возможные последствия для события, связанного с критичностью на складе топлива, классифицируются уровнем 4.
6.2.2. Определение количества эшелонов безопасности	Сохранившиеся эшелоны безопасности, связанные с затоплением или заливом: — меры контроля, предупреждающие затопление или залив (предусмотренные в обосновании безопасности); — обоснование безопасности, подтверждающее, что затопление или залив не приведет к критичности. Сохранившиеся эшелоны безопасности, связанные с другими материалами: — четкие процедуры, обучение и маркировка для предотвращения дополнительного размещения водородсодержащего материала; — инспекции, которые должны выявлять отклонения от допущений, принятых в обосновании безопасности.
6.2.3. Оценка базового уровня классификации	Сохранилось два эшелона безопасности, и, согласно таблице 11, базовый уровень классификации соответствует уровню 1.
6.2.4. Дополнительные факторы	Оценка будет также на уровне 1, так как: — операции производились с отклонением от ЭПУ; — недостатки в культуре безопасности не позволили обеспечить адекватные оценку и документацию. Для повышения оценки события до максимального уровня по воздействию на глубокоэшелонированную защиту оснований нет, так как потребовался бы еще ряд отказов прежде, чем произошла бы авария (см. подраздел 6.2.4, пункт (3)).
Общая оценка	Уровень 1.

Пример 52. 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, она направляет радиоактивность, которая рассеивалась бы в замкнутом помещении, в каналы контролируемого отвода и фильтрации; во-вторых, 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 вентиляционной системы были вызваны взаимосвязанными отказами по общей причине 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 радиоактивного загрязнения воздуха на всех контролируемых рабочих участках не показали каких-либо признаков увеличения уровня загрязнения.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2. и 3. Фактические последствия	Фактических последствий в результате данного события не было.
6.2.1. Максимально возможные последствия	Система ступенчатой вентиляции предназначена для того, чтобы направлять потоки воздуха из зон с малым загрязнением радиоактивностью в зоны с последовательно возрастающим (фактически или потенциально) загрязнением. Если бы в период отказа вентиляции произошло событие (например, пожар), сопровождающееся повышением давления, то часть радиоактивности, которая нормально отводится через систему фильтров, поступала бы в рабочую зону установки и затем в атмосферу без должной степени очистки. С учетом возможного выброса в атмосферу максимально возможные последствия были бы на уровне 4.
6.2.2. Определение количества эшелонов безопасности	Сохранились следующие независимые средства обеспечения безопасности, без учета конечных аварийных процедур: — автоматические системы пожаротушения; — конструкция здания, которая обеспечивает как удержание, так и дезактивацию, снижая дозовые нагрузки до менее 0,1 мЗв.
6.2.3. Оценка базового уровня классификации	Сохранилось по меньшей мере два эффективных эшелона безопасности, и, согласно таблице 11, базовый уровень классификации соответствует уровню 1.
6.2.4. Дополнительные факторы	Хотя процедуры были нарушены (работа продолжалась без вентиляции) и имели место проблемы отказов по общей причине, связанные с источниками электропитания, для повышения оценки события до максимального уровня по воздействию на глубокоэшелонированную защиту оснований нет, так как потребовался бы еще ряд отказов (пожар, отказ систем пожаротушения, проблемы с локализацией) прежде, чем произошла бы авария (см. подраздел 6.2.4, пункт (3)).
Общая оценка	Уровень 1.

Пример 53. Отказ блокировочной системы защитных дверей — уровень 2

Описание события

Инцидент произошел во время перемещения контейнера с остекленными высокоактивными отходами в камеру, когда защитные (экранированные) двери в камеру были открыты после работ по техническому обслуживанию. Открытие дверей контролировалось системой сменных ключей, стационарно смонтированной 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. В данном случае оперативный персонал быстро обнаружил нарушение, и защитные двери были закрыты. Никто не получил лишнюю дозу облучения.

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

В частности:

- приемка системы со сменными ключами для блокировки защитных дверей камеры не выявила недостатков этой системы;
- схема программного логического управления не была правильно запрограммирована и отлажена;
- изменения контролировались неудовлетворительно, не была правильно оценена их значимость с точки зрения безопасности;
- не поддерживалась должная связь с 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 осуществления модификаций требовала улучшения.

Неудовлетворительно были организованы обучение персонала и контроль за доступом в “горячие” камеры.

Объяснение оценки

Критерии	Объяснение
2. и 3. Фактические последствия	Фактических последствий в результате данного события не было.
6.2.1. Максимально возможные последствия	Максимально возможные последствия для таких видов практической деятельности оцениваются уровнем 4 (смертельная доза излучения).
6.2.2. Определение количества эшелонов безопасности	Хотя несколько эшелонов безопасности были нарушены, оставался еще один, а именно: процедура допуска к работам для входа в камеры, которая требует применения индивидуальных сигнализирующих дозиметров.
6.2.3. Оценка базового уровня классификации	Согласно таблице 11, максимальная оценка по глубокоэшелонированной защите соответствует уровню 2.
6.2.4. Дополнительные факторы	Классификационная оценка не может быть выше максимальной оценки по глубокоэшелонированной защите.
Общая оценка	Уровень 2.

Пример 54. 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. Рассматриваемый реактор – это исследовательский реактор бассейнового типа малой мощности. По завершении замены сборки управляющих (компенсационно-аварийных) стержней проводилась работа по возврату топливныхборок в активную зону. После загрузки пятой топливной сборки управляющие стержни были выведены, чтобы проверить, что реактор не критичен. При этом стержни 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 система защиты по нейтронному потоку 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

Критерии	Объяснение
2. и 3. Фактические последствия	Фактических последствий в результате данного события не было.
6.2.1. Максимально возможные последствия	Анализ показывает, что оценка максимально возможных последствий для этого реактора не может превысить уровень 4.
6.2.2. Определение количества эшелонов безопасности	Барьером, предупредившим значительный выброс, явилась аварийная защита по превышению мощности. Ее характеристика не приводится, и, если нельзя подтвердить наличие двух или большего числа эшелонов безопасности, остающихся эффективными в данной ситуации, то следует принять допущение, что остался только один эшелон, предупредивший значительный выброс.
6.2.3. Оценка базового уровня классификации	Согласно таблице 11, базовый уровень классификации соответствует уровню 2.
6.2.4. Дополнительные факторы	Классификационная оценка не может быть выше максимальной оценки по глубокоэшелонированной защите.
Общая оценка	Уровень 2.

Пример 55. Условия, близкие к возникновению критичности, на установке по рециклированию ядерного материала — уровень 2

Описание события

На установке по рециклированию (переработке) плутония в трубе, по которой перекачивается горячий раствор нитрата плутония, образовалась течь, и в течение приблизительно 24 ч в общей сложности 31 кг натека в помещение, в котором находилась труба. Течь была выявлена в ходе ежедневно проводимого осмотра. Горячий раствор нитрата плутония натекал на наружные поверхности

испарителя плутония и скапывал на наклонный пол, покрытый нержавеющей сталью. По мере того, как жидкость попадала на различные поверхности, она испарялась и плутоний осаждался в кристаллической форме на конце трубы и внизу на полу, образуя структуры, подобные “сталактитам” и “сталагмитам”. Интенсивность течи была такова, что материал не достигал в виде жидкости датчика обнаружения утечек, и в результате течь была обнаружена только при проведении регулярного осмотра. Помещение было впоследствии дезактивировано, трубопровод и испаритель заменены, и установка была возвращена в эксплуатацию.

Количество плутония, осевшего на трубе и на полу, не превысило минимальную критическую массу для концентрации перерабатываемого материала, однако, если бы событие произошло при работе с более концентрированным материалом, то критическая масса могла быть превышена.

Объяснение оценки

Событие необходимо рассмотреть по двум направлениям: во-первых, с точки зрения выбросов из установки; во-вторых, с учетом полученных персоналом доз облучения.

Возможные выбросы из установки:

Критерии	Объяснение
2. и 3. Фактические последствия	Фактических последствий в результате данного события не было.
6.2.1. Максимально возможные последствия	Рассеивание (диспергирование) всего материала, накопившегося в данном помещении, могло привести к выбросу в окружающую среду, эквивалентному уровню 5.
6.2.2. Определение количества эшелонов безопасности	<p>Сохранилось по меньшей мере два эшелона безопасности, способных предотвратить такой выброс:</p> <ul style="list-style-type: none"> — бетонная конструкция камеры, содержащей плутоний, которая не разрушилась бы в случае выделения энергии при достижении материалом критичности; и — остальная конструкция здания вместе с вентиляционной системой удаления загрязнения, состоящей, в свою очередь, из систем первичной и вторичной вентиляции.

Критерии	Объяснение
6.2.3. Оценка базового уровня классификации	Согласно таблице 11, базовая классификационная оценка соответствует уровню 2.
6.2.4. Дополнительные факторы	Дополнительные факторы, которые могли бы служить основанием для повышения базового уровня классификации, отсутствуют.
Общая оценка	Уровень 2.

Возможные дозы облучения персонала:

Критерии	Объяснение
2. и 3. Фактические последствия	Фактических последствий в результате данного события не было.
6.2.1. Максимально возможные последствия	Максимально возможные последствия оцениваются уровнем 4 (смертельная доза излучения).
6.2.2. Определение количества эшелонов безопасности	Сохранившиеся эшелоны безопасности для защиты от возникновения критичности отсутствовали.
6.2.3. Оценка базового уровня классификации	Согласно таблице 11, классификационная оценка составляет уровень 2.
6.2.4. Дополнительные факторы	Классификационная оценка не может быть выше максимальной оценки по глубокоэшелонированной защите.
Общая оценка	Уровень 2.

7. ПРОЦЕДУРА ОЦЕНКИ

На схемах, приведенных на следующих страницах (рис. 4-10), кратко изложена процедура классификации по шкале ИНЕС любых событий, связанных с источниками излучения, а также с транспортировкой (перевозкой), хранением или использованием 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 события, и могут служить конспектом для тех, кто хорошо знаком с Руководством для пользователей шкалы ИНЕС. При необходимости в схемы включены пояснительные примечания и таблицы; однако приведенные схемы не следует использовать отдельно от подробных указаний, изложенных в настоящем Руководстве. МАГАТЭ также разработало Интернет-пособие на основе публикуемых схем для обучения применению методологии классификации по шкале ИНЕС.

В дополнение к схемам представлены также две таблицы примеров (таблицы 12 и 13), иллюстрирующих оценки некоторых фактических событий.

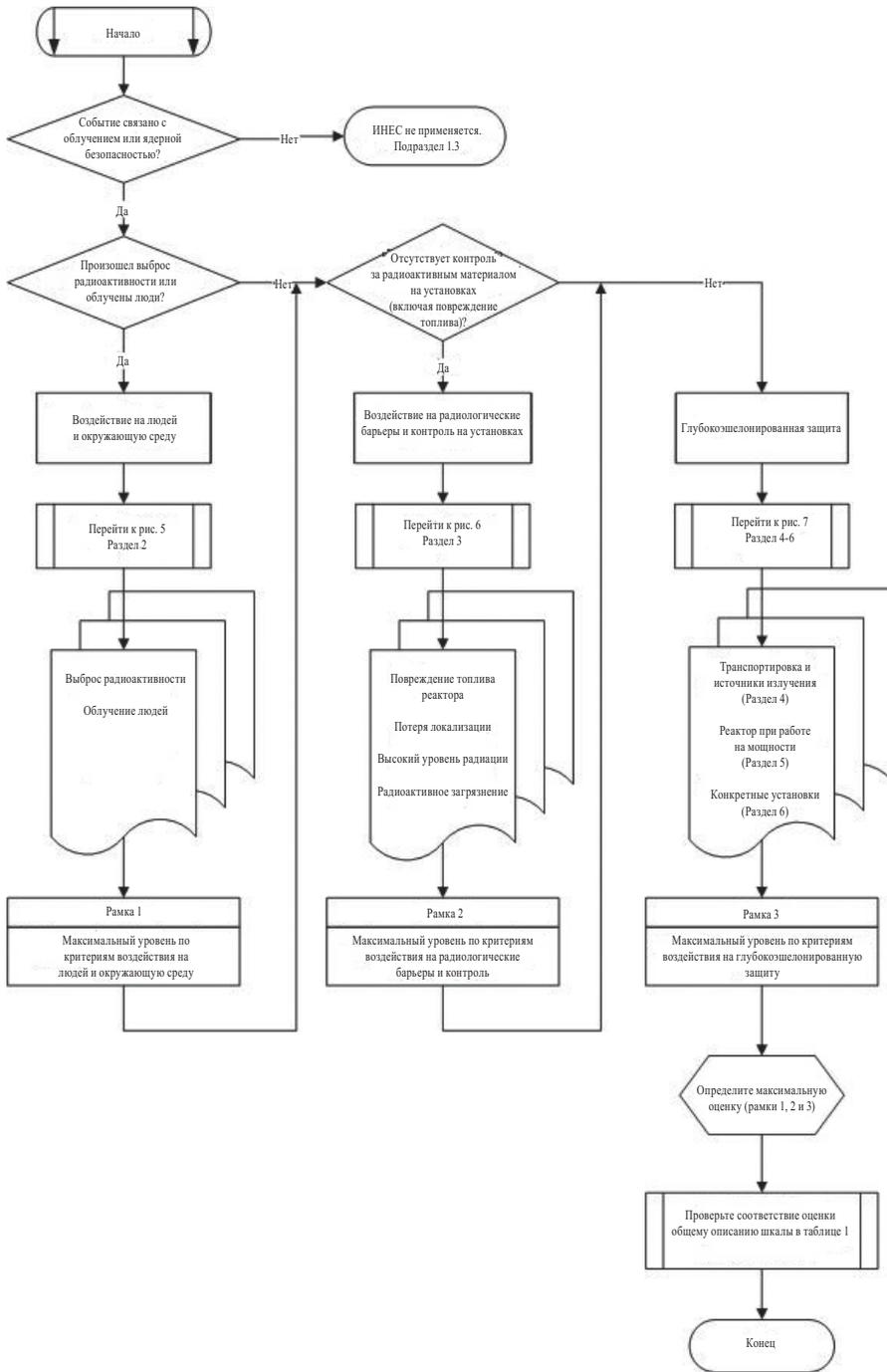
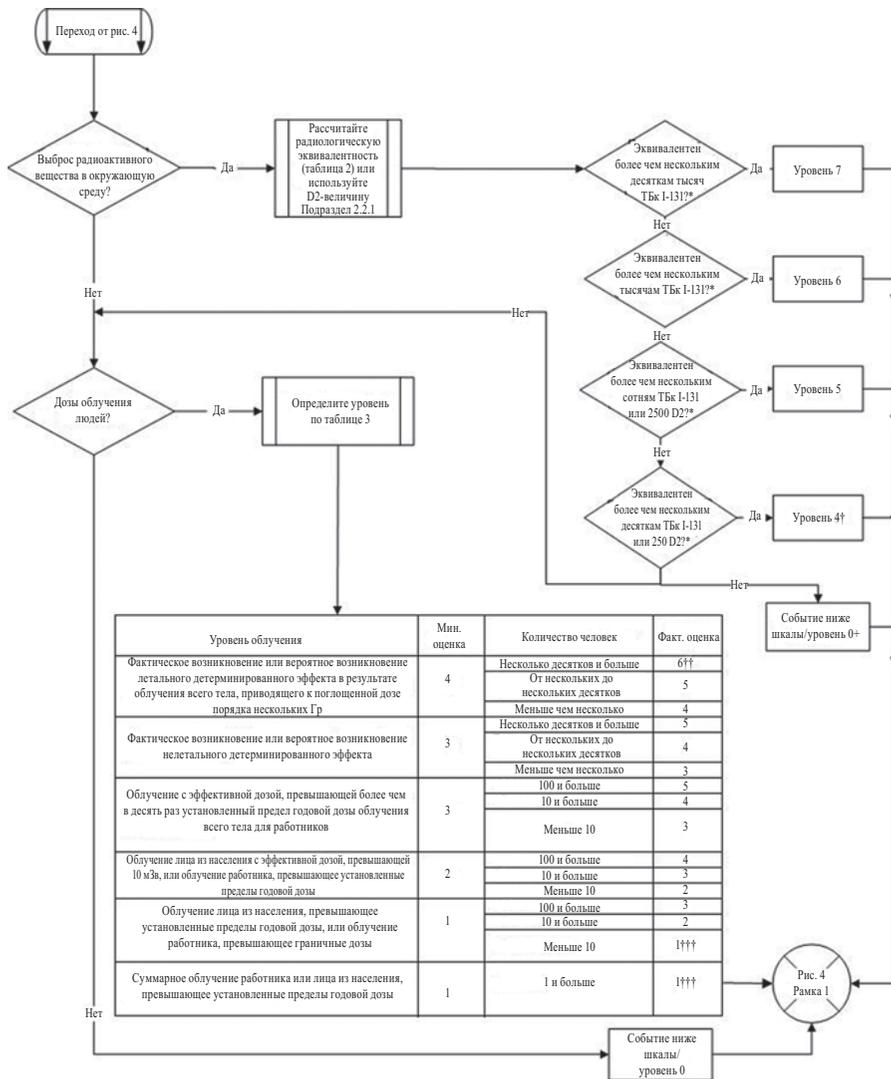


РИС. 4. Общая процедура классификации событий по шкале ИНЕС.



* Эти критерии относятся к авариям, в случае которых начальные оценки выброса могут быть лишь приближительными. Поэтому в определениях уровней целесообразно применять точные численные значения. Однако в целях обеспечения последовательной международной интерпретации этих критериев предлагаются границы между уровнями, соответствующие приблизительно 5000 и 50 000 Тбк I-131.

† Необходимо также рассмотреть повышение классификационной оценки с учетом оценки дозы, полученной людьми на установке, которая определяется с использованием таблицы 3.

†† Уровень 6 не считается заслуживающим доверия в случае любого события, связанного с источниками излучения.

††† Как поясняется в подразделе 2.4, определения уровня 1 базируются на критериях глубокоинтегрированной защиты, разъясняемых в разделах 4–6, однако здесь они включены для полноты изложения.

РИС. 5. Процедура оценки воздействия на людей и окружающую среду.

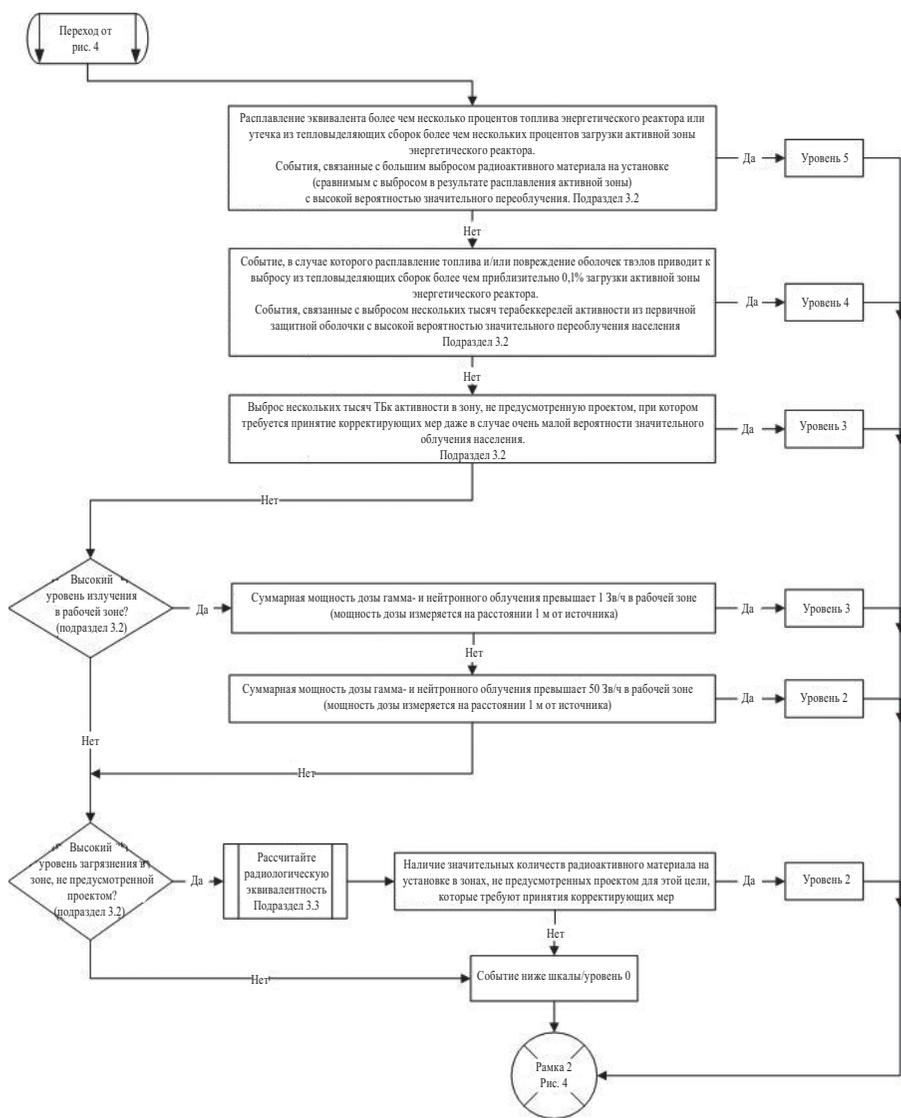


РИС. 6. Процедура оценки воздействия на радиологические барьеры и контроль на установках.

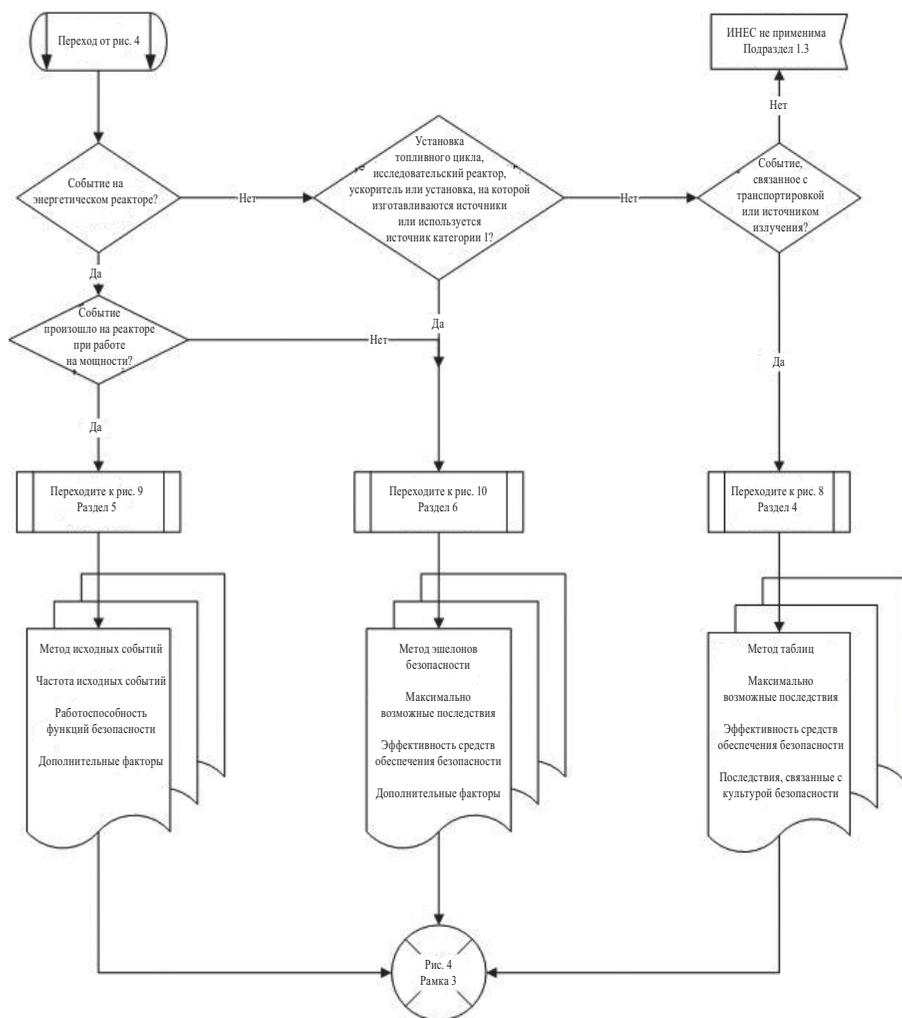
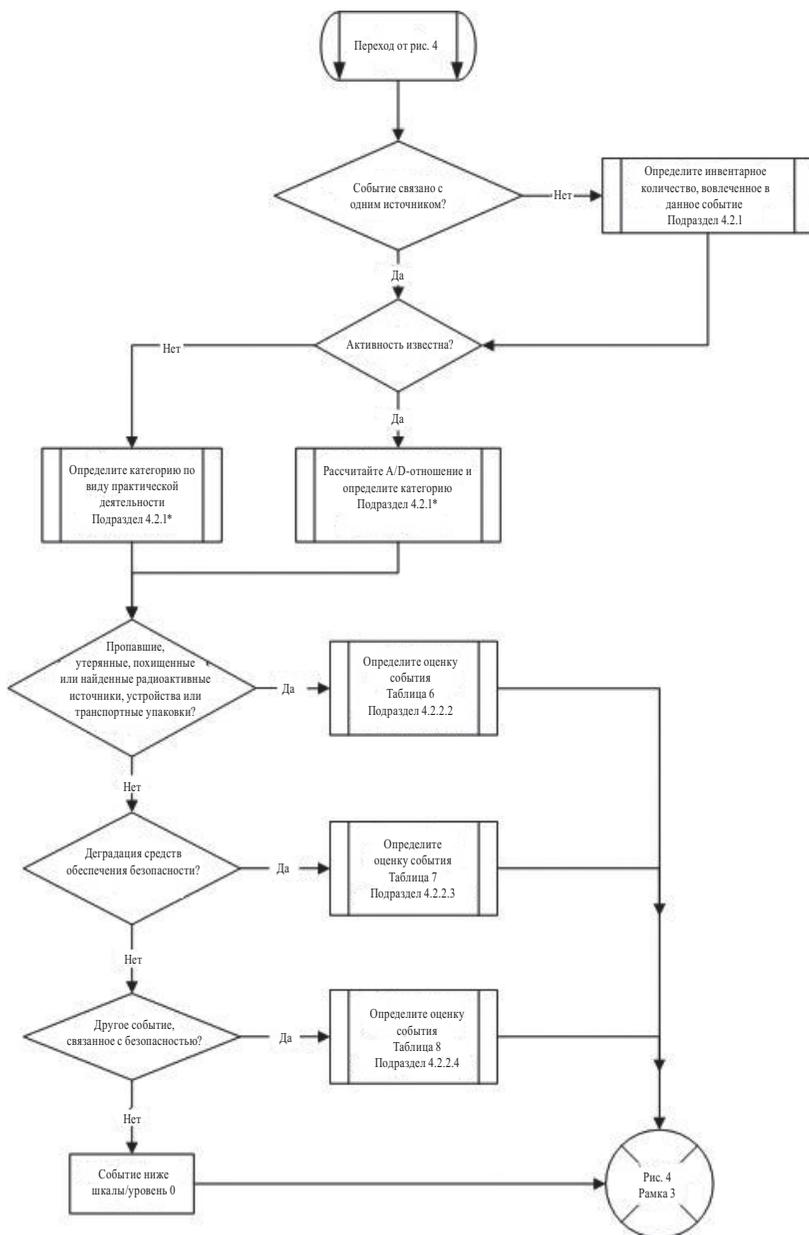
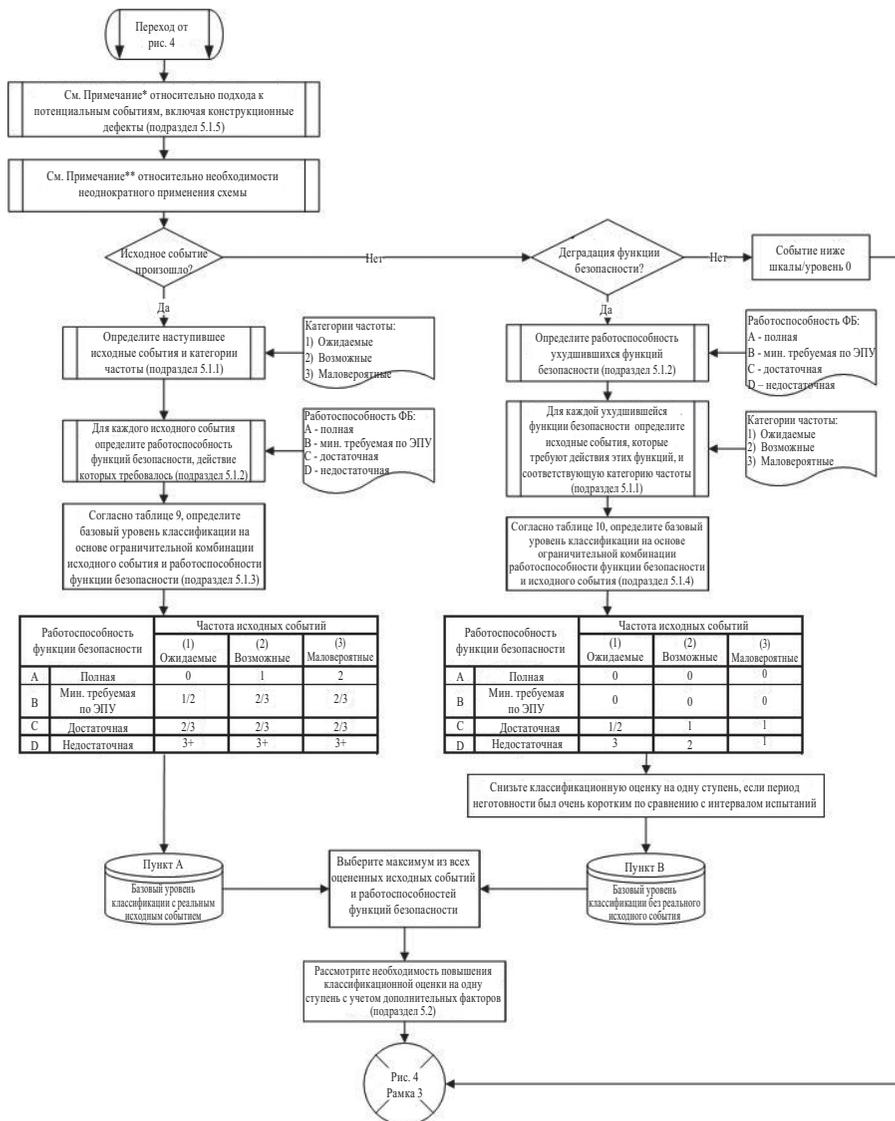


РИС. 7. Общая процедура оценки воздействия на глубокоэшелонированную защиту.



* - См. также Дополнения III и IV.

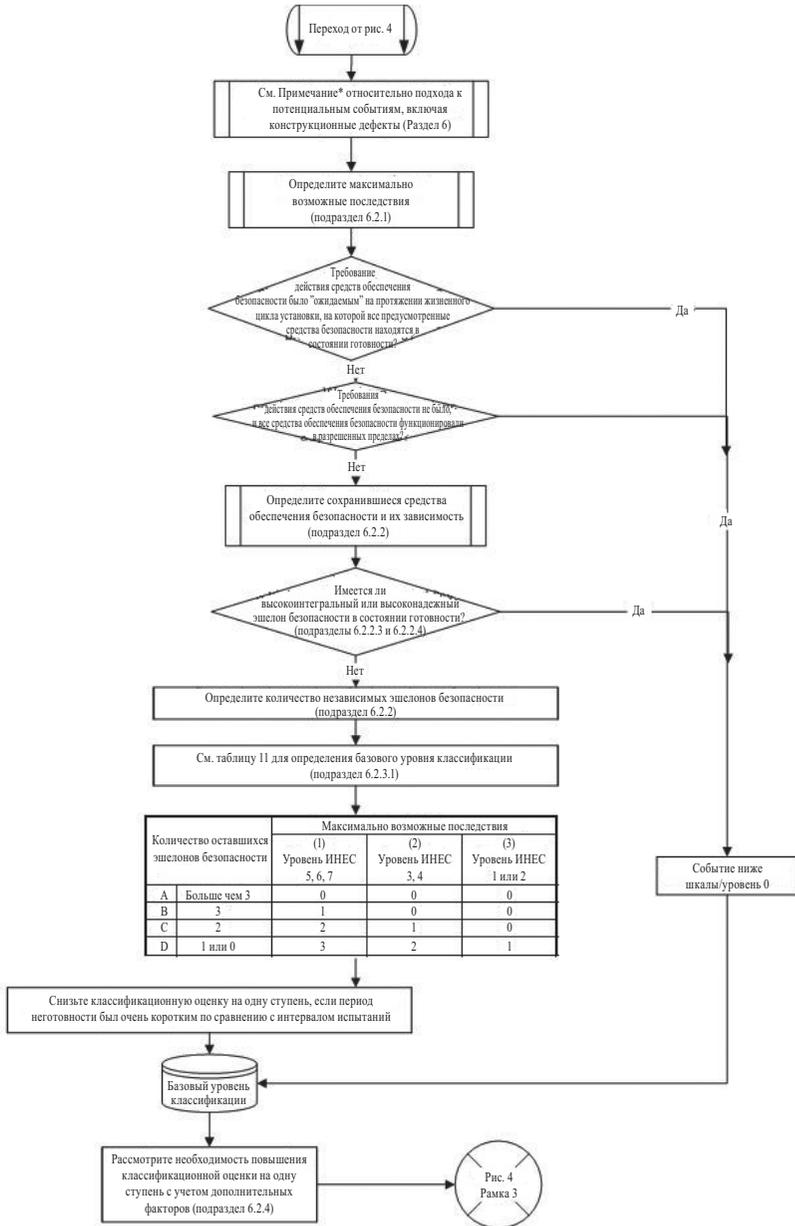
РИС.8. Процедура оценки воздействия на глубокоэшелонированную защиту в случае событий, связанных с транспортировкой и источниками излучения.



* В отношении потенциального события следует предположить, что оно действительно произошло и определить классификационную оценку этого потенциального события с помощью данной схемы. Затем снизьте оценку в зависимости от вероятности того, что потенциальное событие могло произойти. См. подраздел 5.1.5

** События могут быть комбинацией исходных событий и деградации функций безопасности. Поэтому необходимым может быть неоднократное обращение к данной схеме для определения пары исходного события и функции безопасности, дающей максимальную классификационную оценку. См. подраздел 5.1

РИС.9. Процедура оценки воздействия на глубокоэшелонированную защиту в случае реакторов, работающих на мощности.



* В отношении потенциального события следует предположить, что оно действительно произошло и определить классификационную оценку этого потенциального события с помощью данной схемы. Затем снизьте оценку в зависимости от вероятности того, что отказ мог произойти. См. подраздел 6.2.3.2

РИС.10. Процедура оценки воздействия на глубокоэшелонированную защиту в случае установок топливного цикла, исследовательских реакторов, ускорителей или установок с источниками категории 1, а также реакторов, не работающих на мощности.

ТАБЛИЦА 12. ПРИМЕРЫ, ИЛЛЮСТРИРУЮЩИЕ ПРИМЕНЕНИЕ КРИТЕРИЕВ ИНЕС ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ СОБЫТИЙ НА ЯДЕРНЫХ УСТАНОВКАХ

	Люди и окружающая среда	Радиологические барьеры и контроль	Глубокоэлектронизирующая защита
Крупная авария Уровень 7	Чернобыль, 1986 год – обширные последствия для здоровья и окружающей среды. Внешний выброс значительной части топлива из активной зоны реактора		
Серьезная авария Уровень 6	Кыштым, Россия, 1957 год – значительный выброс радиоактивного материала в окружающую среду в результате взрыва емкости с высокоактивными отходами		
Авария с широкими последствиями Уровень 5	Виндскейл-Пайл, Соединенное Королевство, 1957 год - выброс радиоактивного материала в окружающую среду после пожара в активной зоне реактора	АЭС "Три-Майл-Айленд", США, 1979 год – тяжелое повреждение активной зоны реактора	
Авария с локальными последствиями Уровень 4	Токаймура, Япония, 1999 год – переоблучение персонала со смертельным исходом после события с возникновением критичности на ядерной установке	АЭС "Сен-Лоран-лез-О", Франция, 1980 год – расплавление одного топливного канала в реакторе без выброса радиоактивности за пределы площадки	
Серьезный инцидент Уровень 3	<i>Примеров нет</i>	Селлафилд, Соединенное Королевство, 2005 год – выброс большого количества радиоактивного материала, локализованный в пределах установки	АЭС "Вандельос", Испания, 1989 год – близкий к аварии случай, вызванный пожаром, который привел к выходу из строя систем безопасности на АЭС
Инцидент Уровень 2	АЭС "Атуча", Аргентина, 2005 год – переоблучение работника на энергетическом реакторе, превышающее предел годовой дозы	Кадараш, Франция, 1993 год – распространение радиоактивного загрязнения на зону, не предусмотренную проектом	АЭС "Форсмарк", Швеция, 2006 год – деградация функций безопасности с дополнительными факторами из-за отказа аварийной системы энергоснабжения на АЭС по общей причине
Аномалия Уровень 1			Нарушение эксплуатационных пределов на ядерной установке.

ТАБЛИЦА 13. ПРИМЕРЫ, ИЛлюСТРИРУЮЩИЕ ПРИМЕНЕНИЕ ИНЕС ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ СОБЫТИЙ, СВЯЗАННЫХ С ИСТОЧНИКАМИ ИЗЛУЧЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКОЙ

	Люди и окружающая среда	Глубокоэшелонированная защита
Крупная авария Уровень 7		
Серьезная авария Уровень 6		
Авария с широкими последствиями Уровень 5	Гояния, Бразилия, 1987 год – четыре человека погибли и шесть получили дозы облучения в несколько Гр от оставленного без присмотра и разрушенного высокорадиоактивного источника на Cs-137	
Авария с локальными последствиями Уровень 4	Флёрос, Бельгия, 2006 год – тяжелые последствия для здоровья работника на промышленной облучательной установке в результате получения высоких доз облучения.	
Серьезный инцидент Уровень 3	Янаго, Перу, 1999 год – инцидент с радиотрафическим источником, приведший к получению тяжелых лучевых ожогов	Икителли, Турция, 1999 год – утеря высокорадиоактивного источника на Cs-60
Инцидент Уровень 2	США, 2005 год – переоблучение рентгенолога, превышающее годовой предел для лиц, работающих с источниками излучения	Франция, 1995 год – отказ систем контроля доступа на ускорительной установке
Анон-дэи Уровень 1		Хищение влагомера/плотномера

Дополнение 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 значение, сравнимое с активностью ^{131}I . В этом анализе использованы значения коэффициентов при ингаляционном поступлении, которые были заимствованы из ОНБ [14], в то время как дозовые коэффициенты для выпадения на грунт взяты из документа TECDOC-1162 [15] МАГАТЭ. Обе публикации находятся в процессе обновления, однако такое обновление вряд ли может сильно повлиять на величины радиологической эквивалентности, указанные в таблице 14.

Несмотря на то, что в других разделах настоящего Руководства D-величины используются для сравнения относительных значений, которыми характеризуются различные изотопы, в данном Дополнении применяется другой подход. Это объясняется тем, что вычисления значений D-величины основаны на конкретных сценариях, которые применимы только к случаям обращения с радиоактивными источниками и их транспортировки (перевозки). Для коэффициентов радиологической эквивалентности, рассчитанных здесь, используются допущения, основанные на сценариях, которые в большей степени соответствуют авариям на установках.

I.2. МЕТОД

Ниже вкратце представлены используемые сценарии и методология.

Для аэрозольных выбросов активности рассматривались следующие два пути облучения:

- эффективная доза для взрослых, D_{inh} , от ингаляционного поступления удельной активности (концентрации) радионуклидов в воздухе [14] при скорости (объеме) дыхания $3,3 \times 10^{-4} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$; и
- эффективная доза для взрослых от выпавших на грунт радионуклидов, которая интегрируется за более чем 50 лет, включая учет повторного перехода во взвешенное состояние, выветривание и шероховатость почвы [15]. Выпадение на грунт выражается через концентрацию в воздухе и скорость осаждения (V_g), равную $10^{-2} \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ для элементарного

иода и $1,5 \times 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ для других веществ. Используется интегральная доза за более чем 50 лет от удельного выпадения каждого радионуклида ($D_{\text{гнд}}$ (Зв на $1 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-2}$)).

Дозы от перорального поступления не включаются в данное вычисление, поскольку уровни вмешательства по пищевым продуктам предотвращают получение существенных доз отдельными лицами, пострадавшими от аварии.

Суммарная доза (D_{tot}) за все время от выброса с активностью при приземной концентрации радионуклида в воздухе X ($\text{Бк} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-3}$ на 1 Бк выброса) равна:

$$D_{\text{tot}} = Q \cdot X \cdot (D_{\text{inh}} \cdot \text{скорость дыхания} + V_{\text{г}} \cdot D_{\text{гнд}}).$$

Для каждого радионуклида относительная радиологическая эквивалентность по ^{131}I была рассчитана как отношение соответствующих значений $D_{\text{tot}}/(Q \cdot X)$.

В случае радиоактивного загрязнения установки учитывается только ингаляционный путь облучения, и для персонала приводятся коэффициенты при ингаляционном поступлении.

1.3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Коэффициенты при ингаляционном поступлении для расчетов заимствованы из ОНБ [14], кроме коэффициента для $U_{\text{прир.}}$, который не приведен в этом документе. Значения для $U_{\text{прир.}}$ вычислены суммированием вкладов от ^{238}U , ^{235}U , ^{234}U и основных продуктов их распада при использовании отношений ^{234}U (48,9%), ^{235}U (2,2%) и ^{238}U (48,9%). Если радионуклиду свойственны различные типы легочного поглощения, то принято максимальное значение коэффициента при ингаляционном поступлении; исключение составляет уран, для которого указаны все значения.

Интегральные дозы за 50 лет для выпадения на грунт взяты из документа IAEA-TECDOC-1162 [15].

1.4. РЕЗУЛЬТАТЫ

Коэффициенты-множители, применимые как к радиоактивному загрязнению установки, так и к атмосферным выбросам, получены путем деления значений для каждого радионуклида на значение для ^{131}I . Они приводятся в таблицах 14 и 15. В таблице 16 представлены полученные в

результате значения, которые следует использовать для оценок по шкале ИНЕС (т.е. с округлением до одной значащей цифры).

ТАБЛИЦА 14. КОЭФФИЦИЕНТЫ ДЛЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ УСТАНОВКИ (ТОЛЬКО ИНГАЛЯЦИОННОЕ ПОСТУПЛЕНИЕ)

Нуклид	Коэффициент при ингаляционном поступлении (Зв на 1 Бк) [14] (персонал)	Отношение к ¹³¹ I
Am-241	2,70E-05	2454,5
Co-60	1,70E-08	1,5
Cs-134	9,60E-09	0,9
Cs-137	6,70E-09	0,6
H-3	1,80E-11	0,002
I-131	1,10E-08	1,0
Ir-192	4,90E-09	0,4
Mn-54	1,20E-09	0,1
Mo-99	5,60E-10	0,05
P-32	2,90E-09	0,3
Pu-239	3,2E-05	2909,1
Ru-106	3,50E-08	3,2
Sr-90	7,70E-08	7,0
Te-132	3,00E-09	0,3
U-235(S) ^a	6,10E-06	554,5
U-235(M) ^a	1,80E-06	163,6
U-235(F) ^a	6,00E-07	54,5
U-238 (S) ^a	5,70E-06	518,2
U-238(M) ^a	1,60E-06	145,5
U-238 (F)	5,80E-07	52,7
U _{прир.}	6,25E-06	567,9

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

ТАБЛИЦА 15. АТМОСФЕРНЫЙ ВЫБРОС: ДОЗА ОТ ВЫПАДЕНИЯ НА ГРУНТ И ИНГАЛЯЦИОННОГО ПОСТУПЛЕНИЯ

Нуклид	Дозовый коэффициент для 50-летней дозы от выпадения на грунт [15]	50-летняя доза от выпадения на грунт	Дозовый коэффициент для ингаляционного поступления [14] (население)	Ингаляционная доза	Суммарная доза	Отношение к ¹³¹ I
	Зв на 1 Бк·м ⁻²	Зв на 1 Бк·с·м ⁻³	Зв на 1 Бк	Зв на 1 Бк·с·м ⁻³	Зв на 1 Бк·с·м ⁻³	
Am-241	6,40E-06	1,01E-08	9,60E-05	3,17E-08	4,17E-08	8100
Co-60	1,70E-07	2,55E-10	3,10E-08	1,02E-11	2,65E-10	51
Cs-134	5,10E-09	7,65E-11	2,00E-08	6,60E-12	1,43E-11	2,8
Cs-137	1,30E-07	1,95E-10	3,90E-08	1,29E-11	2,08E-10	40
H-3	0,00E+00	0,00E+00	2,60E-10	8,58E-14	8,58E-14	0,020
I-131	2,70E-10	2,70E-12	7,40E-09	2,44E-12	5,14E-12	1,0
Ir-192	4,40E-09	6,60E-09	6,60E-09	2,18E-12	8,78E-12	1,7
Mn-54	1,40E-08	2,10E-11	1,50E-09	4,95E-13	2,15E-11	4,2
Mo-99	6,10E-11	9,15E-14	9,90E-10	3,27E-13	4,18E-13	0,08
P-32	6,80E-12	1,02E-14	3,40E-09	1,12E-12	1,13E-12	0,22
Pu-239	8,50E-06	1,28E-08	1,20E-04	3,96E-08	5,24E-08	10 000
Ru-106	4,80E-09	7,20E-12	6,60E-08	2,18E-11	2,90E-11	5,6
Sr-90	2,10E-08	3,15E-11	1,60E-07	5,28E-11	8,43E-11	16
Te-132	6,90E-10	1,04E-12	2,00E-09	6,60E-13	1,70E-12	0,33
U-235(S) ^a	1,50E-06	2,25E-09	8,50E-06	2,81E-09	5,06E-09	980
U-235(M) ^a	1,50E-06	2,25E-09	3,10E-06	1,02E-09	3,27E-09	640
U-235(F) ^a	1,50E-06	2,25E-09	5,20E-07	1,72E-10	2,42E-09	470
U-238(S) ^a	1,40E-06	2,10E-09	8,00E-06	2,64E-09	4,74E-09	920
U-238(M) ^a	1,40E-06	2,10E-09	2,90E-06	9,57E-10	3,06E-09	590
U-238(F) ^a	1,40E-06	2,10E-09	5,00E-07	1,65E-10	2,27E-09	440
U _{прир.}	1,80E-06	2,70E-09	1,04E-05	3,42E-09	6,12E-09	1200
Инертные газы						Пренебрежительно мало (практически 0)

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

ТАБЛИЦА 16. РАДИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ

Нуклид	Коэффициенты-множители ^a	
	Загрязнение установки	Атмосферный выброс
Am-241	2000	8000
Co-60	2	50
Cs-134	0,9	3
Cs-137	0,6	40
H-3	0,002	0,02
I-131	1	1
Ir-192	0,4	2
Mn-54	0,1	4
Mo-99	0,05	0,08
P-32	0,3	0,2
Pu-239	3000	10 000
Ru-106	3	6
Sr-90	7	20
Te-132	0,3	0,3
U-235(S) ^b	600	1000
U-235(M) ^b	200	600
U-235(F) ^b	50	500
U-238 (S) ^b	500	900
U-238(M) ^b	100	600
U-238 (F) ^b	50	400
U _{прир.}	600	1000

^a Коэффициенты-множители округлены до одной значащей цифры.

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

Дополнение II

ПОРОГОВЫЕ УРОВНИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ЭФФЕКТОВ

Критерии, связанные с детерминированными эффектами, которые изложены в подразделе 2.3.1, предназначены для применения к наблюдаемым детерминированным эффектам. Однако, если во время проведения классификации события не известно, возникнет ли фактически детерминированный эффект, данные, представленные в настоящем Дополнении, могут использоваться для определения классификационной оценки на основе дозы.

II.1. ФАТАЛЬНЫЕ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЕ ЭФФЕКТЫ

В таблице 17 на основе данных, приведенных в [10], указана вероятность острой смерти от облучения при медицинских процедурах для ряда доз облучения.

II.2. ДРУГИЕ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЕ ЭФФЕКТЫ

При оценке внешнего облучения пороговые уровни выражаются взвешенной по ОБЭ поглощенной дозой, и значения этих уровней приводятся в таблице 18. В случае внутреннего облучения пороговые уровни выражаются через ожидаемую поглощенную дозу, взвешенную по ОБЭ, и эти уровни представлены в таблице 19. Значения ОБЭ указаны в таблице 20. Все таблицы являются упрощенным представлением EPR-D-величин МАГАТЭ (для целей аварийной готовности и реагирования), 2006 год [5].

ТАБЛИЦА 17. ВЕРОЯТНОСТЬ ФАТАЛЬНЫХ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ЭФФЕКТОВ ОТ ПЕРЕОБЛУЧЕНИЯ

Кратковременная доза облучения всего тела (Гр)	Вероятность острой смерти от облучения при медицинских процедурах (%)
0,5	0
1	0
1,5	< 5
2	< 5
3	15–30
6	50
10	90

ТАБЛИЦА 18. ПОРОГОВЫЕ УРОВНИ ВЗВЕШЕННОЙ ПО ОБЪЕ ДОЗЫ ОТ ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ

Облучение	Эффект	Орган или ткань	Значение порогового уровня (Гр)
Локальное облучение от находящегося рядом источника	Некроз мягкой ткани	Мягкая ткань ^a	25
Контактное облучение от поверхностного радиоактивного загрязнения	Влажная десквамация	Дерма или кожа	10 ^c
Облучение всего тела от отдаленного источника или иммерсии	(сноска b)	Туловище	1 ^b

^a Мягкая ткань на площади 100 см² и на глубину приблизительно 0,5 см от поверхности тела человека.

^b Данное значение – это минимальная пороговая доза для развития тяжелого (серьезного) детерминированного эффекта от однородного облучения всего тела. Был выбран пороговый уровень 1 Гр, так как он является нижней границей пороговых уровней, при которых начинаются тяжелые детерминированные эффекты в красном костном мозге, щитовидной железе, хрусталиках глаз и репродуктивных органах, как показано в таблице I-3 документа IAEA-TECDOC-1432 [8].

^c Принимается допущение, что для возникновения тяжелых детерминированных эффектов для здоровья требуется облучение на этом уровне по меньшей мере 100 см² кожи. Доза воздействует на структуры кожи на глубину 40 мг/см² (или 0,4 мм) от поверхности кожи.

ТАБЛИЦА 19. ПОРОГОВЫЕ УРОВНИ ОЖИДАЕМОЙ ВЗВЕШЕННОЙ ПО ОБЭ ДОЗЫ ОТ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ

Путь облучения	Эффект	Орган или ткань-мишень	Пороговый уровень	
			Значение (Гр)	Ожидаемый период (сут)
Ингаляционное и пероральное поступление	Гематопозитический синдром	Красный костный мозг ^{a, b}	0,2 ^c 2 ^d	30
Ингаляционное поступление	Пневмонит	Альвеолярно-интерстициальный отдел или дыхательные пути	30	30
Ингаляционное и пероральное поступление	Желудочно-кишечный синдром	Толстый кишечник	20	30
Ингаляционное и пероральное поступление	Гипотиреоз	Щитовидная железа	2 ^e	365 ^f

^a Для случаев с вспомогательным медицинским лечением.

^b Радионуклиды с $Z \geq 90$ характеризуются разными, по сравнению с $Z \leq 89$, биокинетическими процессами, и, следовательно, разной динамикой формирования дозы в красном костном мозге при внутреннем облучении. Поэтому радионуклиды были разделены на две группы во избежание сверхконсерватизма в оценке риска соответствующего воздействия на здоровье.

^c Для радионуклидов с $Z \geq 90$.

^d Для радионуклидов с $Z \leq 89$.

^e Использовано значение из дополнения А в [9].

^f Учитывая биологический и физический период полураспада радионуклидов, который приводит к значительной дозе облучения щитовидной железы (изотопы I и Te), эти дозовые коэффициенты были получены фактически для ожидаемого периода, намного меньшего, чем 365 сут; однако для данного референтного уровня был выбран ожидаемый период, равный 365 сут.

ТАБЛИЦА 20. ЗНАЧЕНИЯ ОБЭ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ТЯЖЕЛЫМ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫМ ЭФФЕКТАМ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ

Последствия для здоровья	Критический орган	Облучение ^a	ОБЭ
Гематопозитический синдром ^b	Красный	Внешнее γ	1
		Внешнее n^0	3
	костный мозг	Внутреннее β, γ	1
		Внутреннее α	2
Пневмонит	Легкие	Внутреннее β, γ	1
		Внутреннее α	7
Желудочно-кишечный синдром	Толстый кишечник	Внутреннее β, γ	1
		Внутреннее α	0 ^c
		Внешнее n^0	3
Влажная десквамация	Кожа ^d	Внутреннее β, γ	1
Острый радиационный тиреоидит	Щитовидная железа	Поглощение некоторых изотопов иода ^e	0,2
		Другие тиреотропы	1
Некроз	Мягкая ткань ^f	Внутреннее β, γ	1

^a Внешнее β -, γ -облучение включает дозу от тормозного излучения, образующегося в материалах источника.

^b Для случаев с вспомогательным медицинским лечением.

^c Для альфа-источников, равномерно распределенных в толстом кишечнике, принимается допущение, что облучение стенок кишечника является пренебрежительно малым.

^d Для участка кожи площадью 100 см², который рассматривается в качестве опасного для жизни [9], дозу на кожу следует вычислять для глубины 0,4 мм, как рекомендовано в документах [10] – пункты (305), (306) и (310), [11] и [12] – подраздел 3.4.1.

^e Принимается допущение, что вероятность того, что однородное облучение критической ткани щитовидной железы приводит к детерминированным эффектам для здоровья, в пять раз выше, чем в случае внутреннего облучения от низкоэнергетических бета-излучающих изотопов иода, таких как ¹³¹I, ¹²⁹I, ¹²⁵I, ¹²⁴I и ¹²³I [9]. Тиреотропные радионуклиды характеризуются неоднородным распределением в тканях щитовидной железы. Иод-131 испускает низкоэнергетические бета-частицы, что приводит к снижению эффективности облучения критических тканей щитовидной железы из-за рассеяния их энергии в других тканях.

^f Облучение ткани на глубину 0,5 см от поверхности тела на площади более 100 см² приводит к серьезным детерминированным эффектам [8, 13].

Дополнение III

ЗНАЧЕНИЯ D-ВЕЛИЧИНЫ ДЛЯ РЯДА ИЗОТОПОВ

Информация заимствована из публикации МАГАТЭ “Категоризация радиоактивных источников” [1]. В этой публикации и справочном материале к ней [5] рассматриваются два типа значений D-величины. Значения D-величины представляют уровень активности, выше которого источник считается “опасным” и потенциально может привести к тяжелым (серьезным) детерминированным эффектам, если не обеспечивать безопасное и надежное обращение с ним.

D₁-величина – это активность радионуклида в источнике, могущая в неконтролируемых условиях и при отсутствии рассеяния (диспергирования) материала (т.е. когда источник остается капсулированным) привести к аварийной ситуации, которая, как можно с достаточным основанием ожидать, способна вызвать тяжелые детерминированные эффекты для здоровья.

D₂-величина – это “активность радионуклида в источнике, могущая в неконтролируемых условиях и при рассеянии (диспергировании) материала привести к аварийной ситуации, которая, как можно с достаточным основанием ожидать, способна вызвать тяжелые детерминированные эффекты для здоровья”.

Рекомендованные значения D-величины, таким образом, являются наиболее ограничительными (предельными) среди D₁- и D₂-величин.

В соответствии с этим подходом в данном Дополнении даны два набора значений D-величины. В случае Раздела 2 настоящего Руководства, когда критерии связаны с рассеянным (диспергированным) материалом, применяются D₂-величины (таблица 21). Применительно к Разделу 4 настоящего Руководства, когда критерии связаны с глубокошелонированной защитой, используются D-величины (таблица 22).

III-1. D₂-ВЕЛИЧИНЫ ДЛЯ РАДИОНУКЛИДОВ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В СООТВЕТСТВИИ С КРИТЕРИЯМИ РАЗДЕЛА 2

ТАБЛИЦА 21. ЗНАЧЕНИЯ D₂-ВЕЛИЧИНЫ ДЛЯ РЯДА ИЗОТОПОВ

Радионуклид	D ₂ (ТБк)
Am-241	6,E-02
Am-241/Be	6,E-02
Au-198	3,E+01

ТАБЛИЦА 21. ЗНАЧЕНИЯ D_2 -ВЕЛИЧИНЫ ДЛЯ РЯДА ИЗОТОПОВ (продолж.)

Радионуклид	D_2 (ТБк)
Cd-109	3,E+01
Cf-252	1,E-02
Cm-244	5,E-02
Co-57	4,E+02
Co-60	3,E+01
Cs-137	2,E+01
Fe-55	8,E+02
Gd-153	8,E+01
Ge-68	2,E+01
H-3	2,E+03
I-125	2,E-01
I-131	2,E-01
Ir-192	2,E+01
Kr-85	2,E+03
Mo-99	2,E+01
Ni-63	6,E+01
P-32	2,E+01
Pd-103	1,E+02
Pm-147	4,E+01
Po-210	6,E-02
Pu-238	6,E-02
Pu-239/Be	6,E-02
Ra-226	7,E-02
Ru-106(Rh-106)	1,E+01
Se-75	2,E+02
Sr-90(Y-90)	1,E+00
Tc-99 ^m	7,E+02
Tl-204	2,E+01
Tm-170	2,E+01
Yb-169	3,E+01

III-2. D-ВЕЛИЧИНЫ ДЛЯ РАДИОНУКЛИДОВ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В
 СООТВЕТСТВИИ С КРИТЕРИЯМИ РАЗДЕЛА 4

ТАБЛИЦА 22. ЗНАЧЕНИЯ D-ВЕЛИЧИНЫ ДЛЯ РЯДА ИЗОТОПОВ

Радионуклид	D (ТБк)
Am-241	6,Е-02
Am-241/Be	6,Е-02
Au-198	2,Е-01
Cd-109	2,Е+01
Cf-252	2,Е-02
Cm-244	5,Е-02
Co-57	7,Е-01
Co-60	3,Е-02
Cs-137	1,Е-01
Fe-55	8,Е+02
Gd-153	1,Е+00
Ge-68	7,Е-01
H-3	2,Е+03
I-125	2,Е-01
I-131	2,Е-01
Ir-192	8,Е-02
Kr-85	3,Е+01
Mo-99	3,Е-01
Ni-63	6,Е+01
P-32	1,Е+01
Pd-103	9,Е+01
Pm-147	4,Е+01
Po-210	6,Е-02
Pu-238	6,Е-02
Pu-239/Be	6,Е-02
Ra-226	4,Е-02
Ru-106(Rh-106)	(ТБк)
Se-75	2,Е-01

ТАБЛИЦА 22. ЗНАЧЕНИЯ D-ВЕЛИЧИНЫ ДЛЯ РЯДА ИЗОТОПОВ (продолж.)

Радионуклид	D (ТБк)
Sr-90(Y-90)	1,E+00
Tс-99 ^m	7,E-01
Тl-204	2,E+01
Tm-170	2,E+01
Yb-169	3,E-01

III-3. ВЫЧИСЛЕНИЕ СОВОКУПНЫХ (АГРЕГИРОВАННЫХ) ЗНАЧЕНИЙ

В случае, когда событие связано с несколькими радиоактивными источниками или транспортными упаковками, следует вычислять совокупное (агрегированное) значение D-величины. На основе руководящих материалов, содержащихся в публикациях “Категоризации радиоактивных источников” [1] и “Правила безопасной перевозки радиоактивных материалов” [6], совокупное (агрегированное) значение вычисляется следующим образом:

$$1/D = \sum f_i/D_i,$$

где D – совокупное (агрегированное) значение D-величины, f_i – доля изотопа i и D_i – значение D-величины для изотопа i , или

$$A/D = \sum A_i/D_i,$$

где A – суммарная активность и A_i – активность изотопа.

Дополнение IV

КАТЕГОРИЗАЦИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ НА ОСНОВЕ РАСПРОСТРАНЕННЫХ ВИДОВ ПРАКТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Информация заимствована из публикации МАГАТЭ “Категоризация радиоактивных источников” [1].

ТАБЛИЦА 23. КАТЕГОРИЗАЦИЯ РАСПРОСТРАНЕННЫХ ВИДОВ ПРАКТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Категория	Категоризация распространенных видов практической деятельности	Типичные изотопы
1	Радиоизотопные термоэлектрические генераторы (РИТЭГи)	Sr-90, Pu-238
	Облучатели	Co-60, Cs-137
	Телетерапия	Co-60, Cs-137
	Стационарная многолучевая телетерапия (гамма-нож)	Co-60
2	Промышленная гамма-радиография	Co-60, Se-75, Ir-192, Yb-169, Tm-170
	Брахитерапия высоких/средних мощностей дозы	Co-60, Cs-137, Ir-192
3	Стационарные промышленные средства измерений:	
	уровнемеры	Co-60, Cs-137
	датчики землечерпалок	Co-60, Cs-137
	конвейерные датчики, содержащие высокорadioактивные источники	Cs-137, Cf-252
	вращающийся измерители толщины стенок труб	Cs-137
	каротажные приборы	Am-241/Be, Cs-137, Cf-252

ТАБЛИЦА 23. КАТЕГОРИЗАЦИЯ РАСПРОСТРАНЕННЫХ ВИДОВ ПРАКТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ (продолж.)

Категория	Категоризация распространенных видов практической деятельности	Типичные изотопы
4	Брахитерапия низких мощностей дозы (исключая глазные аппликаторы и долговременные имплантатные источники)	I-125, Cs-137, Ir-192, Au-198, Ra-226, Cf-252
	Толщиномеры/средства измерения уровня заполнения	Kr-85, Sr-90, Cs-137, Am-241, Pm-147, Cm-244
	Переносные средства измерений (например, датчики влажности/плотномеры)	Cs-137, Ra-226, Am-241/Be, Cf-252
	Костные денситометры	Cd-109, I-125, Gd-153, Am-241
	Нейтрализаторы статического электричества	Po-210, Am-241
5	Брахитерапия низких мощностей дозы – глазные аппликаторы и долговременные имплантаты	Sr-90, Ru/Rh-106, Pd-103
	Рентгено-флюоресцентные анализаторы	Fe-55, Cd-109, Co-57
	Электроннозахватные детекторы	Ni-63, H-3
	Мессбауэровская спектрометрия	Co-57
	Контрольные источники для позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ).	Ge-68

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- [1] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Категоризация радиоактивных источников, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № RS-G-1.9, МАГАТЭ, Вена (2006).
- [2] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Международная шкала ядерных событий (ИНЕС), Руководство для пользователей. Издание 2001 года, МАГАТЭ, Вена (2001).
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Rating of Transport and Radiation Source Events: Additional Guidance for the INES National Officers, Working Material, IAEA-INES WM 04/2006, IAEA, Vienna (2006).
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Clarification for Fuel Damage Events, Working Material, IAEA-INES WM/03/2004, IAEA, Vienna (2004).
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Dangerous Quantities of Radioactive Material (D-Values), Emergency Preparedness and Response, EPRD-Values-2006, IAEA, Vienna (2006).
- [6] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Правила безопасной перевозки радиоактивных материалов. Издание 2005 года, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № TS-R-1, МАГАТЭ, Вена (2005).
- [7] МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНСУЛЬТАТИВНАЯ ГРУППА ПО ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ, Культура безопасности, Серия изданий по безопасности, № 75-INSAG-4, МАГАТЭ, Вена (1991).
- [8] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Development of an Extended Framework for Emergency Response Criteria: Interim Report for Comment, IAEA-TECDOC-1432, IAEA, Vienna (2006).
- [9] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Health Effects Models for Nuclear Power Plant Accident Consequence Analysis, Low LET Radiation, Rep. NUREG/CR-4214, Rev.1, Part II SAND85-7185, NRC, Washington, DC (1989).
- [10] HOPEWELL, J.W., Biological Effects of Irradiation on Skin and Recommendation Dose Limits, Radiat. Prot. Dosimetry **39**, 1/3 (1991) 11–24.
- [11] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, The Biological Basis for Dose Limitation in the Skin, Publication 59, Ann ICRP **22**, 2, Pergamon Press, Oxford (1991).
- [12] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Dosimetry of External Beta Rays for Radiation Protection, ICRU Report 56, ICRU, Bethesda, MD (1996).
- [13] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries, Safety Reports Series No. 2, IAEA, Vienna (1998).

- [14] АГЕНТСТВО ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ ОЭСР, ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА, МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, ПАНАМЕРИКАНСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ, Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения, Серия изданий по безопасности, № 115, МАГАТЭ, Вена, (1997).
- [15] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Общие инструкции оценки и реагирования на радиологические аварийные ситуации, IAEA-TECDOC-1162/R, МАГАТЭ, Вена (2004).
- [16] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности: терминология, используемая в области ядерной безопасности и радиационной защиты (издание 2007 года), МАГАТЭ, Вена (2008).
- [17] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Глубокоэшелонированная защита в ядерной безопасности, INSAG-10, МАГАТЭ, Вена (1998).
- [18] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Основные принципы безопасности атомных электростанций, Серия изданий по безопасности, № 75-INSAG-3, МАГАТЭ, Вена (1989).
- [19] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Кодекс поведения по обеспечению безопасности и сохранности радиоактивных источников, МАГАТЭ, Вена (2004).

Приложение I

ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННАЯ ЗАЩИТА

Неоднократно отмечалось, что безопасная эксплуатация атомных электростанций обеспечивается за счет поддержания трех основных функций безопасности:

- 1) управление реактивностью;
- 2) охлаждение топлива;
- 3) локализация.

В общем смысле это можно применить к безопасному осуществлению любого вида деятельности, связанного с использованием радиоактивного материала, исходя из предпосылки, что безопасная работа поддерживается тремя основными функциями безопасности:

- 1) управление реактивностью или условиями технологического процесса;
- 2) охлаждение радиоактивного материала;
- 3) радиологический контроль (например, локализация радиоактивного материала и биологическая защита).

В случае некоторых видов практической деятельности требуются не все эти функции безопасности (например, в промышленной радиографии применяется только третья функция).

Каждая из функций безопасности обеспечивается правильным проектированием, хорошо регулируемой эксплуатацией и комплексом технических систем и административных мер контроля. При проектировании всех этих средств, как правило, применяется метод глубокоэшелонированной защиты, допускающий возможность отказа оборудования, ошибок человека и непланируемого развития событий.

Глубокоэшелонированная защита, таким образом, представляет собой сочетание консервативного проектирования, обеспечения качества, контроля, мер по смягчению последствий и общей культуры безопасности, укрепляющей каждый из последовательных уровней (эшелонов).

Обеспечение глубокоэшелонированной защиты является фундаментальным принципом проектирования и эксплуатации основных ядерных и радиационных установок. Публикация “Основные принципы безопасности атомных электростанций”, Серия изданий по безопасности МАГАТЭ, № 75-INSAG-3 [I-1], 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.”

Построение глубокоэшелонированной защиты можно рассматривать различными способами. Например, можно учитывать количество барьеров, предусматриваемых с целью предотвращения выбросов материала (например, оболочка твэлов, корпус реактора, защитная оболочка). Можно также учитывать число систем, отказ которых должен произойти, прежде чем наступит авария (например, потеря внешнего электроснабжения плюс отказ всех основных дизелей). Последний подход принят в процедуре классификации событий по шкале ИНЕС.

В обосновании безопасности установки технологические (эксплуатационные) системы могут отличаться от средств безопасности. В случае отказа технологических систем будут действовать дополнительные средства обеспечения безопасности, сохраняющие функцию безопасности. Мерами обеспечения безопасности могут быть как процедуры, средства административного контроля, так и пассивные или активные системы, которые обычно предусматриваются с резервированием, и их наличие определяется ЭПУ.

Частота случаев, в которых требуется действие средств обеспечения безопасности, сводится к минимуму посредством правильного проектирования, эксплуатации, технического обслуживания, ремонта и контроля. Например, частота отказов первого контура реактора или основного трубопровода и емкостей на заводе по переработке топлива минимизируется за счет таких мер, как обеспечение проектных запасов надежности, контроль качества, применение эксплуатационных ограничений и осуществление надзора. Аналогичным образом частота возникновения переходных режимов реактора минимизируется эксплуатационными процедурами и системами управления. Нормально функционирующие технологические и управляющие системы способствуют сведению к минимуму частоты случаев, в которых требуется действие средств обеспечения безопасности.

В документе INSAG-10 [I-2] (составленном после разработки шкалы ИНЕС) приводится намного больше подробной информации по обеспечению глубокоэшелонированной защиты при проектировании и эксплуатации, и таблица I-1 иллюстрирует, каким образом концепции, изложенные в документе

INSAG-10, используются в оценке событий по шкале ИНЕС с учетом воздействия на глубокоэшелонированную защиту.

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ К ПРИЛОЖЕНИЮ I

- [I-1] МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНСУЛЬТАТИВНАЯ ГРУППА ПО ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ, Основные принципы безопасности атомных электростанций, Серия изданий по безопасности, № 75-INSAG-3, МАГАТЭ, Вена (1989).
- [I-2] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Глубокоэшелонированная защита в ядерной безопасности, INSAG-10, МАГАТЭ, Вена (1998).

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕНЕНИЕ ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

Цель	Средства осуществления	Учет в ИНЕС	
		В случае энергетических реакторов (Раздел 5)	В случае других установок (Раздел 6)
Предотвращение нарушения нормальной эксплуатации и отказов	Консервативное проектирование и высокое качество строительства и эксплуатации	Учитывается путем рассмотрения вероятности исходного события	Каждая хорошо спроектированная система рассматривается как одна или несколько эшелонов безопасности
Контроль нарушений нормальной эксплуатации и обнаружение отказов	Системы контроля, ограничения и защиты и другие средства надзора	Наличие средств контроля и надзора учитывается путем рассмотрения вероятности исходного события. Системы защиты включены как системы безопасности и поэтому учитываются путем рассмотрения работоспособности функций безопасности.	Рассматриваются как один или несколько эшелонов безопасности
Контроль проектных аварий	Инженерно-технические средства обеспечения безопасности и аварийные процедуры	Учитываются путем рассмотрения работоспособности функций безопасности	Рассматриваются как один или несколько эшелонов безопасности

ТАБЛИЦА I–1. ПРИМЕНЕНИЕ ГЛУБОКОЭШЕЛОНИРОВАННОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ (продолж.)

Цель	Средства осуществления	Учет в ИНЕС	
		В случае энергетических реакторов (Раздел 5)	В случае других установок (Раздел 6)
Контроль тяжелых условий на установке, включая предотвращение развития аварии и смягчение последствий тяжелых аварий	Дополнительные меры и управление аварией	Учитываются путем рассмотрения работоспособности функций безопасности	Рассматриваются как один или несколько эшелонов безопасности.
Смягчение радиологических последствий значительных выбросов радиоактивных материалов	Реагирование за пределами площадки	Не рассматриваются как часть глубокоэшелонированной защиты. Эти меры влияют на фактические последствия, как указано в предыдущих разделах Руководства для пользователей ИНЕС	Не рассматриваются как часть глубокоэшелонированной защиты. Эти меры влияют на фактические последствия, как указано в предыдущих разделах Руководства для пользователей ИНЕС

Приложение II

ПРИМЕРЫ ИСХОДНЫХ СОБЫТИЙ И ЧАСТОТЫ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ

Для каждого реактора в обоснования его безопасности предусматриваются отдельные перечни и классификация исходных событий. В настоящем Дополнении приводятся некоторые типичные примеры исходных событий, предусматриваемых в проектных основах, которые использовались в прошлом для энергетических реакторов; эти исходные события подразделяются на категории в 'Ожидаемые', 'Возможные', 'Маловероятные'.

II-1. РЕАКТОРЫ, ОХЛАЖДАЕМЫЕ ВОДОЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ (PWR И ВВЭР)

II-1.1. Категория 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 элементов оборудования (например, предохранительного или сбросного клапана);
- 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 величину, допустимую технологическим регламентом эксплуатации, но меньшая, чем течь, 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.

II–1.2. Категория 2 'Возможные'

- Авария с потерей теплоносителя (АПТ) через малую течь;
- полный разрыв одной из трубок парогенератора;
- падение одной отработавшей ТВС, не затрагивающее другие ТВС;
- утечка из бассейна выдержки отработавшего топлива, превышающая нормально компенсируемый объем;
- истечение теплоносителя реактора через систему предохранительных или сбросных клапанов.

II–1.3. Категория 3 'Маловероятные'

- АПТ через большую течь, вплоть до возможного разрыва трубопровода наибольшего диаметра в границах контура давления теплоносителя реактора;
- выброс одного регулирующего стержня;
- разрыв трубопровода второго контура большого диаметра, вплоть до наибольшего диаметра;
- падение отработавшей ТВС на другие отработавшие ТВС.

II–2. РЕАКТОРЫ, ОХЛАЖДАЕМЫЕ КИПЯЩЕЙ ВОДОЙ (BWR)

II–2.1. Категория 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 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;
- потеря расхода принудительной циркуляции теплоносителя реактора.

II–2.2. Категория 2 'Возможные'

- АПТ через малую течь;
- разрыв трубопровода “острого” пара;
- падение одной отработавшей ТВС, не затрагивающее другие ТВС;
- утечка из бассейна выдержки отработавшего топлива, превышающая нормально компенсируемый объем;
- истечение теплоносителя реактора через систему предохранительных или сбросных клапанов.

II–2.2. Категория 3 'Маловероятные'

- АПТ через большую течь, вплоть до возможного разрыва трубопровода наибольшего диаметра в границах контура давления теплоносителя реактора;
- падение одного регулирующего стержня;
- большой разрыв трубопровода “острого” пара;
- падение отработавшей ТВС на другие отработавшие ТВС.

II–3. ТЯЖЕЛОВОДНЫЕ РЕАКТОРЫ CANDU

II–3.1. Категория 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 клапана);

- течь трубки парогенератора, превышающая величину, допустимую технологическим регламентом эксплуатации, но меньшая, чем течь, 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;
- непланируемое локальное увеличение реактивности.

II–3.2. Категория 2 'Возможные'

- АПТ через малую течь (в том числе разрыв трубопровода под давлением);
- полный разрыв одной из трубок парогенератора;
- истечение теплоносителя первого контура через систему предохранительных или сбросных клапанов;
- повреждение облученного топлива или потеря охлаждения перегрузочной машины с облученным топливом;
- утечка из бассейна облученного топлива, превышающая нормально компенсируемый объем;
- разрыв трубопровода питательной воды;
- засорение отдельного канала (больше 70%);
- потеря (отказ в контуре) замедлителя;
- потеря охлаждения торцевой защиты;
- нарушение охлаждения остановленного реактора;
- непланируемое общее увеличение реактивности;
- потеря подачи технической воды (низкого давления, высокого давления или обратная охлаждающая вода);
- отказ пневматической системы;
- отказ внутренних источников электропитания (класса IV, III, II или I).

II-3.3. Категория 3 'Маловероятные'

- АПТ через большую течь, вплоть до возможного разрыва трубопровода наибольшего диаметра в границах контура давления теплоносителя реактора;
- разрыв трубопровода второго контура большого диаметра, вплоть до наибольшего диаметра.

II-4. РЕАКТОРЫ РБМК (LWGR)

II-4.1. Категория 1 'Ожидаемые'

- Быстрый останов реактора;
- нарушение в системе нейтронного регулирования мощности реактора;
- потеря расхода основной питательной воды;
- снижение давления в системе охлаждения реактора (КМПЦ - первый контур) в результате непреднамеренного действия (срабатывания) активных элементов оборудования (например, предохранительного или сбросного клапана);
- течь в первом контуре (КМПЦ), не препятствующая нормальному быстрому 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.

II-4.2. Категория 2 'Возможные'

- АПТ через малую течь (теплоносителя КМПЦ);
- падение отработавшей ТВС;
- утечка из бассейна выдержки отработавшего топлива, превышающая нормально компенсируемый объем;
- истечение теплоносителя из первого контура (КМПЦ) через систему предохранительных или сбросных клапанов;
- разрыв технологического канала или канала СУЗ;

- потеря расхода воды в любом топливном 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 системы аварийного охлаждения реактора (САОР) в реактор.

II-4.3. Категория 3 'Маловероятные'

- АПТ через большую течь, 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 топливного канала, в том числе из топливного канала в разгрузочно-загрузочную машину.

II-5. ГАЗООХЛАЖДАЕМЫЕ РЕАКТОРЫ

II-5.1. Категория 1 'Ожидаемые'

- Быстрый останов реактора;
- потеря расхода основной 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.

II-5.2. Категория 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).

II-5.3. Категория 3 'Маловероятные'

- Большое снижение давления (разгерметизация);
- повреждение паропровода;
- повреждение питательного трубопровода.

Приложение III

ПЕРЕЧЕНЬ УЧАСТВОВАВШИХ СТРАН И ОРГАНИЗАЦИЙ

Австралия	Испания
Австрия	Италия
Аргентина	Ливан
Армения	Литва
Бангладеш	Люксембург
Беларусь	Мексика
Бельгия	Нидерланды
Болгария	Норвегия
Бразилия	Пакистан
Венгрия	Перу
Вьетнам	Польша
Гватемала	Португалия
Германия	Российская Федерация
Греция	Румыния
Дания	Саудовская Аравия
Египет	Сирийская Арабская Республика
Казахстан	Словакия
Канада	Словения
Китай	Соединенное Королевство
Конго, Демократическая Республика	Соединенные Штаты Америки
Корея, Республика	Турция
Коста-Рика	Украина
Кувейт	Финляндия
Индия	Франция
Иран, Исламская Республика	Черногория
Ирландия	Чешская Республика
Исландия	Чили

Хорватия
Швеция
Швейцария
Шри-Ланка

Бывшая югославская
Республика Македония
Южная Африка
Япония

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СВЯЗИ

Европейская комиссия
Европейский атомный форум (Форатом)
Всемирная ассоциация организаций, эксплуатирующих АЭС
Всемирная ядерная ассоциация

ГЛОССАРИЙ

Данный раздел содержит определения важных терминов или фраз, используемых в настоящем Руководстве. Многие из этих определений взяты из Основных нормы безопасности [14] и Глоссария МАГАТЭ по вопросам безопасности [16]. Во многих случаях более подробное пояснение дается в тексте руководства.

Авария. В контексте представления информации о событиях и их анализа авария – это событие, которое привело к значительным последствиям для людей, окружающей среды или установки. Примерами являются смертельные эффекты для отдельных лиц, большие выбросы радиоактивности в окружающую среду, расплавление активной зоны реактора. Для информирования общественности о значимости событий в ИНЕС события классифицируются на одном из семи уровней и термин авария используется для описания событий, соответствующих уровню 4 или выше. События меньшей значимости называются инцидентами.

Примечание. В анализах безопасности и нормах МАГАТЭ по безопасности, термин “авария” используется в более общем смысле и означает “Любое непреднамеренное событие, включая ошибки во время эксплуатации, отказы оборудования или другие неполадки, реальные или потенциальные последствия которого не могут игнорироваться с точки зрения защиты или безопасности” [14]. Так, например, события, которые считаются авариями согласно определению в нормах безопасности, могут быть авариями или “инцидентами” в сообщениях для общественности и в соответствии с терминологией, применяемой в ИНЕС. Данное более конкретное определение ИНЕС используется для облегчения понимания общественностью значимости события для безопасности.

Базовый уровень классификации. Оценка до учета дополнительных факторов. Она базируется исключительно на значимости фактических отказов оборудования или административных ошибок.

Бесхозный источник. Радиоактивный источник, который не находится под регулирующим контролем, потому что он либо никогда не находился под регулирующим контролем, либо был оставлен без присмотра, утерян, помещен в ненадлежащее место, похищен или передан без надлежащего официального разрешения [19].

Взвешенная по ОБЭ поглощенная доза. Произведение поглощенной дозы на орган или ткань и ОБЭ излучения, приводящего к возникновению дозы:

$$AD_T = \sum_R D_T^R \times RBE_T^R,$$

где D_T^R – доза на орган от излучения R в ткани T , а RBE_T^R – относительная биологическая эффективность излучения R в создании данного эффекта в конкретном органе или ткани T . Единицей взвешенной по ОБЭ поглощенной дозы является Дж·кг⁻¹, она называется gray-эквивалентом (Гр-экв).

Взвешенная по ОБЭ поглощенная доза предназначается для учета различий в биологической эффективности создания детерминированных эффектов для здоровья в органах или тканях условного человека, обусловленных качеством излучения [5].

Внешнее облучение. Облучение от источника, находящегося вне тела человека [16].

Внутреннее облучение. Облучение от источника, находящегося в теле человека [16].

Высокоинтегральный эшелон безопасности. Высокоинтегральный эшелон безопасности имеет следующие характеристики:

- а) эшелон безопасности рассчитан на преодоление всех проектных недостатков и указан или подразумевается в обосновании безопасности установки как требующий особенно высокого уровня надежности или целостности (интегральности);
- б) целостность (интегральность) эшелона безопасности обеспечивается соответствующим контролем или проверками, позволяющими выявлять любую деградацию целостности;
- в) на случай обнаружения деградации эшелона безопасности имеются определенные средства, позволяющие справиться с нарушением и осуществить корректирующие меры – либо по заранее установленным процедурам, либо благодаря длительному времени, имеющемуся в распоряжении для устранения или ослабления последствий нарушения.

Высоконадежный эшелон безопасности. В некоторых случаях имеющееся в распоряжении время может быть настолько велико, что в готовность может быть приведен целый ряд потенциальных эшелонов безопасности, и в обосновании безопасности нет необходимости детально идентифицировать каждый из них или включать в процедуру подробное описание способов их приведения в готовность. В таких случаях (при

условии наличия ряда практически осуществимых мер) имеющийся в распоряжении длительный период времени сам по себе обеспечивает высоконадежный эшелон безопасности.

Генератор излучения. Устройство, способное генерировать излучение, такое как рентгеновское излучения, излучение нейтронов, электронов или других заряженных частиц, которое может использоваться для научных, промышленных или медицинских целей [14].

Годовая доза. Сумма дозы, полученной от внешнего облучения в течение года, и ожидаемой дозы от поступления радионуклидов в данном году [16].

Глубокоэшелонированная защита. Иерархия различных уровней неодинаковых видов оборудования и процедур, предназначенная для предотвращения эскалации ожидаемых при эксплуатации событий и поддержания эффективности физических барьеров, предусмотренных между источником излучения или радиоактивными материалами и работниками, лицами из населения или окружающей средой [16].
См. введение в Разделы 4,5,6, Приложение I и ИНСАГ-10 [17], в которых приводится дополнительная информация.

Граничная доза. Планируемое ограничение индивидуальной дозы, получаемой от источника, которое применяется в качестве верхнего граничного значения дозы при оптимизации защиты и безопасности данного источника [16].

Делящийся материал. ^{234}U , ^{235}U , ^{239}Pu , ^{241}Pu или любое сочетание этих радиоактивных изотопов. Под это определение не попадают:

- a) необлученный природный уран или обедненный уран; и
- b) природный уран или обедненный уран, облученный только в реакторах на тепловых нейтронах [16].

Детерминированный эффект. Радиационный эффект, для которого обычно существует пороговый уровень дозы, выше которого тяжесть проявления этого эффекта возрастает с увеличением дозы [14].

Примечание. Уровень пороговой дозы характеризует конкретное воздействие на здоровье, однако он может в ограниченной степени также зависеть от облучаемого человека. Примеры детерминированных эффектов включают эритему и острый лучевой синдром (лучевую болезнь).

Доза. Мера энергии, которая передана ионизирующим излучением мишени [16]. При использовании данного термина в конкретных определениях требуется его дальнейшее уточнение, например, поглощенная доза, эффективная доза, доза облучения всего тела, взвешенная по ОБЭ доза.

Дополнительные факторы. Факторы, которые могут привести к повышению базового уровня классификации события. Дополнительные факторы позволяют учитывать аспекты события, которые могут свидетельствовать о более глубоком ухудшении состояния объекта или организационных условий на объекте. К рассматриваемым факторам относятся отказы по общей причине процедурные несоответствия и недостатки в культуре безопасности.

Защитная оболочка. Методы или технические конструкции, предназначенные для предотвращения или контроля сброса и рассеивания (диспергирования) радиоактивных веществ [16].

Инцидент. В контексте представления информации о событиях и их анализа термин инцидент используется для описания событий, которые являются менее тяжелыми, чем аварии. Для информирования населения о значимости событий в ИНЕС события классифицируются на одном из семи уровней и термин инцидент используется для описания событий до уровня 3 включительно. События более высокой значимости именуется авариями.

Источник. Все, что может вызывать радиационное облучение при испускании ионизирующего излучения или выбросе радиоактивных веществ или материалов и может рассматриваться как единый объект для целей обеспечения защиты и безопасности [16].

Например, вещества, выделяющие радон, являются источниками, существующими в окружающей среде, гамма-облучательная установка для лучевой стерилизации является источником, используемым в практической деятельности для сохранения пищевых продуктов, рентгеновская установка может быть источником, используемым в практической деятельности в целях радиодиагностики, а атомная электростанция является частью практической деятельности при производстве электроэнергии с использованием реакции ядерного деления и может рассматриваться в качестве источника (например, применительно к сбросам в окружающую среду) или в качестве группы источников (например, для целей радиационной защиты персонала).

Источник излучения. Генератор излучения, радиоактивный источник или иной радиоактивный материал вне ядерных топливных циклов исследовательских и энергетических реакторов [16].

Исходное событие (инициирующее событие). Исходное событие или инициирующее событие – это определяемое в анализе безопасности событие, которое приводит к отклонению от нормального рабочего (эксплуатационного) состояния и требует действия одной или нескольких функций безопасности.

Культура безопасности. Набор характеристик и особенностей деятельности организаций и поведения отдельных лиц, который устанавливает, что проблемам защиты и безопасности, как обладающим высшим приоритетом, уделяется внимание, определяемое их значимостью [14].

Локализация. Предотвращение или контроль выбросов радиоактивного материала в окружающую среду в процессе эксплуатации или при авариях [16].

Примечание. Локализация тесно связана по своему значению с защитной оболочкой, однако термин локализация применяется для обозначения функции безопасности, связанной с предотвращением “утечки” радиоактивных материалов, в то время как защитная оболочка – для обозначения средств достижения этой функции.

Облучение. Действие или условия, в которых человек подвергается воздействию излучения [16].

Примечание. Термин облучение не следует использовать в качестве синонима дозы. Доза – это мера воздействия облучения.

Обоснование безопасности. Набор аргументов и свидетельств в подтверждение безопасности установки или деятельности.

Оператор. Любая организация или любое лицо, которые подают заявление на получение официального разрешения или получили официальное разрешение и/или несут ответственность за обеспечение ядерной безопасности, радиационной безопасности, безопасности радиоактивных отходов или безопасности перевозки при осуществлении деятельности или в отношении любых ядерных установок или источников ионизирующих излучений. В их число входят, в частности, частные лица,

государственные (правительственные) органы, грузоотправители или перевозчики, лицензиаты, лечебные учреждения, лица, работающие по найму [16].

Примечание. Под оператором подразумеваются лица, которые либо непосредственно осуществляют контроль над установкой или деятельностью во время использования источника (такие как рентгенологи или перевозчики), либо в случае источника, не находящегося под контролем (как, например, утерянного или незаконно изъятого источника или возвращающегося в атмосферу спутника), лица, которые несли ответственность за данный источник до того, как над ним был утрачен контроль.

Примечание. Синоним термина “эксплуатирующая организация”.

Отказ по общей причине. Отказ двух или более конструкций, систем или элементов вследствие единичного конкретного события или одной причины [16].

Например, недостаток проекта (конструкции), погрешность в изготовлении, ошибки во время эксплуатации и технического обслуживания, природное явление, вызванное деятельностью человека событие, насыщение сигналов, или непреднамеренное каскадное воздействие от любой другой операции или отказа внутри станции, или от изменения в условиях окружающей среды.

Поглощенная доза. Фундаментальная дозиметрическая величина D , выражаемая формулой:

$$D = d\varepsilon/dm,$$

где $d\varepsilon$ – средняя энергия, переданная *ионизирующим излучением* веществу, находящемуся в элементарном объеме, а dm – масса вещества в этом элементарном объеме. Единицей СИ для поглощенной дозы является джоуль на килограмм ($\text{Дж}\cdot\text{кг}^{-1}$), которая называется греем (Гр) [14].

Практическая деятельность. Любая деятельность человека, при осуществлении которой вводятся дополнительные источники облучения или создаются дополнительные пути облучения, либо увеличивается число людей, подвергающихся облучению, либо изменяется структура путей облучения от существующих источников так, что увеличивается

либо само облучение, либо вероятность облучения людей, либо число облучаемых людей [14].

Примечание. Такие термины, как “разрешенная практическая деятельность”, “контролируемая практическая деятельность” и “регулируемая практическая деятельность” употребляются для отличия практической деятельности, которая подпадает под регулирующий контроль, от других видов деятельности, которые соответствуют определению практической деятельности, но не требуют контроля или не подпадают под него.

Предел дозы (дозовый предел). Эффективная доза или эквивалентная доза, полученная отдельными лицами в результате осуществления контролируемой практической деятельности, которая не должна превышать [14]. Существует диапазон пределов, которые все должны учитываться, включая эффективную дозу для всего тела, дозы для кожи, дозы для конечностей и дозы для хрусталика глаза.

Работник. Любое лицо, которое работает полный или неполный рабочий день либо временно на нанимателя и которое имеет определенные права и обязанности в отношении профессиональной радиационной защиты (радиационной защиты персонала). (Самодетельное лицо рассматривается как имеющие обязанности и нанимателя, и работника.). [14]

Работоспособность оборудования. Способность выполнять требуемую функцию требующимся образом.

Работоспособность функции безопасности. Работоспособность (готовность) функции безопасности может быть *полной, минимально требуемой по ЭПУ, достаточной* или *недостаточной* в зависимости от работоспособности отдельных взаимно резервированных и неодинаковых (разнородных) систем безопасности и их элементов.

Рабочая зона. Рабочие (обслуживаемые) зоны – это участки, куда разрешен доступ персонала без специальных пропусков. К ним не относятся участки, в которых требуются специальные меры контроля (помимо общих требований в отношении использования индивидуальных дозиметров и/или ношения комбинезонов) ввиду уровня радиоактивного загрязнения или радиации.

Радиоактивный источник. Радиоактивный материал, окончательно запечатанный в капсуле или плотно соединенный и находящийся в

твердом состоянии, который не освобожден от регулирующего контроля. Сюда также относится любой радиоактивный материал, высвобождающийся из радиоактивного источника в результате образования течи или нарушения его целостности, но не относится к материалу, капсулированному для захоронения, или ядерному материалу в рамках ядерных топливных циклов исследовательских и энергетических реакторов [19].

Радиоактивный материал. Материал, который в силу своей радиоактивности определен в национальном законодательстве или национальным регулирующим органом как подлежащий регулирующему контролю.

Радиологические барьеры. Физические барьеры, удерживающие радиоактивный материал и/или обеспечивающие защиту отдельных лиц от излучения, испускаемого материалом.

Радиологический. Прилагательное, относящееся к излучению и радиоактивному загрязнению (поверхностному и аэрозольному).

Разрешенная (имеющая официальное разрешение) установка. Установки, на которые выдан конкретный вид официального разрешения. К ним относятся ядерные установки, облучательные установки; некоторые установки по добыче и обработке сырьевых материалов, например урановые рудники; установки для обращения с радиоактивными отходами; а также любые другие места, где образуются, обрабатываются, используются, подвергаются физическому манипулированию, хранятся или захораниваются радиоактивные материалы, или же где установлены генераторы излучений, в таких масштабах, при которых требуется учитывать факторы защиты и безопасности.

Разрешенный (санкционированный) предел. Предел измеряемой величины (в том числе параметров работоспособности оборудования), установленный или официально принятый регулирующим органом (иногда эти пределы устанавливаются в рамках так называемых ЭПУ).

Системы безопасности. Системы, важные для безопасности, которые предусматриваются для обеспечения функций безопасности.

Событие. Любое происшествие, о котором необходимо сообщать регулирующему органу или оператору или информировать население.

Средства обеспечения безопасности. Средствами обеспечения безопасности могут быть как процедуры, меры административного контроля, так и пассивные или активные системы, которые обычно предусматриваются с резервированием, и их наличие определяется эксплуатационными пределами и условиями.

Стохастический эффект. Индуцированный излучением эффект для здоровья, вероятность возникновения которого выше при более высоких дозах излучения и тяжесть проявления которого (если он возник) не зависит от дозы [16].

Примечание. Стохастические эффекты обычно не имеют порогового уровня дозы. Примеры включают различные формы рака и лейкемии.

Упаковка. Упаковочный комплект с его радиоактивным содержимым в представленном для перевозки виде. Существует несколько видов упаковок:

- 1) освобожденная упаковка;
- 2) промышленная упаковка типа 1 (тип ПУ-1) (Type IP-1);
- 3) промышленная упаковка типа 2 (тип ПУ-2) (Type IP-2);
- 4) промышленная упаковка типа 3 (тип ПУ-3) (Type IP-3);
- 5) упаковка типа А;
- 6) упаковка типа В(U);
- 7) упаковка типа В(M);
- 8) упаковка типа С.

Детальные спецификации и требования по каждому типу упаковки изложены в Правилах перевозки [6].

Уровень расследования. Значение таких величин, как *эффективная доза*, *поступление* или *радиоактивное загрязнение* на единицу площади или объема, при котором или при превышении которого следует проводить расследование.

Фактические последствия. В настоящем Руководстве под ними понимаются последствия, оценка которых осуществляется с использованием критериев оценки воздействия на людей и окружающую среду, а также на радиологические барьеры и средства управления на установках. В отличие от этого с использованием критериев деградации глубокоэшелонированной защиты оцениваются события, не имеющие

фактических последствий, когда предусмотренные меры по предотвращению аварий или по борьбе с ними не сработали в соответствии с их назначением.

Функции безопасности. Тремя основными функциями безопасности являются:

- а) управление реактивностью или условиями технологического процесса;
- б) охлаждение радиоактивного материала; с) локализация (удержание) радиоактивных материалов.

Эквивалентная доза. Мера дозы на ткань или орган, предназначенная для количественного выражения наносимого вреда. Значения эквивалентной дозы на конкретную ткань от излучения разного вида могут сравниваться непосредственно. Она определяется как величина $H_{T,R}$, где:

$$H_{T,R} = w_R \cdot D_{T,R},$$

где $D_{T,R}$ – поглощенная доза от излучения типа R, усредненная по ткани или органу T, а w_R – весовой множитель излучения для излучения типа R. Если поле излучения формируется излучениями различных типов с разными значениями w_R , то эквивалентная доза выражается формулой:

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,R}.$$

Единицей эквивалентной дозы является зиверт (Зв), который равен 1 Дж/кг. Иногда в качестве единицы эквивалентной дозы и эффективной дозы используется бэр, равный 0,01 Зв.

Эксплуатационные пределы и условия. Совокупность правил, определяющих пределы параметров, функциональные возможности и уровни рабочих характеристик для оборудования и персонала, которые утверждены регулирующим органом с целью обеспечения безопасной эксплуатации установки, на которую было выдано официальное разрешение [16]. (В большинстве стран для атомных электростанций они указываются в технических условиях).

Эксплуатационный персонал. Работники, осуществляющие эксплуатацию разрешенной (имеющей официальное разрешение) установки.

Эксплуатирующая организация. Организация, которая подает заявку на получение официального разрешения или получила официальное разрешение эксплуатировать разрешенную (имеющую официальное

разрешение) установку и несет ответственность за обеспечение ее безопасности.

Примечание. На практике в случае имеющей официальное разрешение установки эксплуатирующая организация – это, как правило, также лицензиат или зарегистрированное лицо.

См. также оператор.

Эффективная доза. Мера дозы, отражающая степень радиационного ущерба, который может быть получен от дозы. Значения эффективной дозы от излучения разного вида при различном облучении, могут сравниваться непосредственно. Она определяется как сумма тканевых эквивалентных доз, каждая из которых умножена на соответствующий тканевый весовой множитель:

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T,$$

где H_T – эквивалентная доза в ткани T , а w_T – тканевый весовой множитель для ткани T . Из определения эквивалентной дозы следует, что:

$$E = \sum_T w_T \cdot \sum_R w_R \cdot D_{T,R},$$

где w_R – весовой множитель излучения для излучения вида R , а $D_{T,R}$ – средняя поглощенная доза в органе или ткани T [14].

Единицей эффективной дозы является зиверт (Зв), который равен 1 Дж/кг. Иногда в качестве единицы эквивалентной дозы и эффективной дозы используется бэр, равный 0,01 Зв.

Эшелоны безопасности. Пассивные системы, автоматически или вручную включаемые системы безопасности, или средства административного контроля, которые предусматриваются для обеспечения того, чтобы достигались требуемые функции безопасности [16]. Эшелон безопасности следует рассматривать как меру обеспечения безопасности, которая не может быть подразделена на резервные элементы. См. раздел 6.2.2, в котором приводится детальное определение того, как этот термин используется в настоящем документе.

ПЕРЕЧЕНЬ РИСУНКОВ

Рисунок 1.	Иллюстрация средств обеспечения безопасности в примере 41	143
Рисунок 2.	Иллюстрация эшелонов безопасности в примерах 44 и 46.	149
Рисунок 3.	Схема системы охлаждения в примере 48	155
Рисунок 4.	Общая процедура классификации событий по шкале ИНЕС	168
Рисунок 5.	Процедура оценки воздействия на людей и окружающую среду	169
Рисунок 6.	Процедура оценки воздействия на радиологические барьеры и контроль на установках.	170
Рисунок 7.	Общая процедура оценки воздействия на глубокоэшелонированную защиту.	171
Рисунок 8.	Процедура оценки воздействия на глубокоэшелонированную защиту в случае событий, связанных с транспортировкой и источниками излучения	172
Рисунок 9.	Процедура оценки воздействия на глубокоэшелонированную защиту в случае реакторов, работающих на мощности	173
Рисунок 10.	Процедура оценки воздействия на глубокоэшелонированную защиту в случае установок топливного цикла, исследовательских реакторов, ускорителей или установок с источниками категории 1, а также реакторов, не работающих на мощности	174

ПЕРЕЧЕНЬ ТАБЛИЦ

Таблица 1.	Общие критерии классификации событий по шкале ИНЕС	4
Таблица 2.	Радиологическая эквивалентность по ¹³¹ I для выбросов в атмосферу	18
Таблица 3.	Радиологическая эквивалентность по ¹³¹ I для выбросов в атмосферу	24
Таблица 4.	Радиологическая эквивалентность радиоактивного загрязнения установки	40
Таблица 5.	Оценки максимально возможных последствий и воздействия на глубокоэшелонированную защиту в зависимости от A/D-отношения и категории источника	50
Таблица 6.	Оценка событий, связанных с утерянными или обнаруженными радиоактивными источниками, устройствами или транспортными упаковками	55
Таблица 7.	Оценка событий, связанных с деградацией средств обеспечения безопасности	57
Таблица 8.	Оценка других связанных с безопасностью событий	61
Таблица 9.	События-происшествия с реальным исходным событием	86
Таблица 10.	События-происшествия без реального исходного события.	90
Таблица 11.	Оценка событий методом эшелонов безопасности	129
Таблица 12.	Примеры, иллюстрирующие применение критериев ИНЕС для классификации событий на ядерных установках	175
Таблица 13.	Примеры, иллюстрирующие применение ИНЕС для классификации событий, связанных с источниками излучения и транспортировкой	176
Таблица 14.	Коэффициенты для радиоактивного загрязнения установки (только ингаляционное поступление).	179
Таблица 15.	Атмосферный выброс: доза от выпадения на грунт и ингаляционного поступления	180
Таблица 16.	Радиологическая эквивалентность.	181
Таблица 17.	Вероятность фатальных детерминированных эффектов от переоблучения.	182
Таблица 18.	Пороговые уровни взвешенной по ОБЭ дозы от внешнего облучения	183
Таблица 19.	Пороговые уровни ожидаемой взвешенной по ОБЭ дозы от внутреннего облучения.	184

Таблица 20.	Значения ОБЭ, используемые применительно к тяжелым детерминированным эффектам для здоровья	185
Таблица 21.	Значения D_2 -величины для ряда изотопов	186
Таблица 22.	Значения D -величины для ряда изотопов	188
Таблица 23.	Категоризация распространенных видов практической деятельности	190

ПЕРЕЧЕНЬ ПРИМЕРОВ

Пример 1.	Переоблучение электрика в больнице — уровень 2	26
Пример 2.	Переоблучение рентгенолога — уровень 2	26
Пример 3.	Переоблучение промышленного рентгенолога — уровень 3.	27
Пример 4.	Разрушение брошенного высокоактивного источника — уровень 5	28
Пример 5.	Выброс иода-131 из реактора — уровень 5	30
Пример 6.	Перегрев бака для хранения высокоактивных отходов на установке по переработке топлива — уровень 6	31
Пример 7.	Большой выброс активности после аварии с возникновением критичности и пожара — уровень 7.	32
Пример 8.	Событие в лаборатории по изготовлению радиоактивных источников — событие ниже шкалы/уровень 0.	39
Пример 9.	Повреждение твэлов в реакторе — событие ниже шкалы/уровень 0.	41
Пример 10.	Разлив загрязненной плутонием жидкости на полу лаборатории — уровень 2	42
Пример 11.	Поступление плутония в организм работников на установке по переработке плутония – уровень 2	43
Пример 12.	Эвакуация в районе расположения ядерной установки — уровень 4.	44
Пример 13.	Расплавление активной зоны реактора — уровень 5	45
Пример 14.	Открепление и возврат в исходное положение промышленного радиографического источника — событие ниже шкалы/уровень 0.	62
Пример 15.	Сход с рельсов поезда с грузом отработавшего топлива — событие ниже шкалы/уровень 0.	64
Пример 16.	Упаковка повреждена вилочным погрузчиком — событие ниже шкалы/уровень 0	64
Пример 17.	Похищен промышленный радиографический источник — уровень 1	65
Пример 18.	Различные радиоактивные источники, обнаруженные в металлоломе — уровень 1	66
Пример 19.	Утерян плотномер — уровень 1	67
Пример 20.	Похищен радиоактивный источник во время перевозки — уровень 1	68
Пример 21.	Разлив радиоактивного материала в отделении ядерной медицины — уровень 1	69
Пример 22.	Столкновение и наезд поезда на упаковки радиоактивного материала — уровень 1	70

Пример 23.	Предположительно пустые транспортные контейнеры содержали ядерный материал — уровень 1	71
Пример 24.	Подозрительное показание плечного дозиметра — уровень 1	72
Пример 25.	Переплавка бесхозного источника — уровень 2	74
Пример 26.	Утерян высокоактивный источник радиотерапевтической установки — уровень 3	75
Пример 27.	Быстрый останов реактора, вызванный падением управляющих стержней — событие ниже шкалы/уровень 0	97
Пример 28.	Утечка теплоносителя реактора во время перегрузки топлива на мощности — уровень 1	98
Пример 29.	Неготовность спринклерной системы защитной оболочки из-за клапанов, оставленных в закрытом положении — уровень 1	99
Пример 30.	Утечка воды из первого контура через разрывную мембрану барботажного бака компенсатора давления — уровень 1	100
Пример 31.	Падение тепловыделяющей сборки во время перегрузки топлива — уровень 1	103
Пример 32.	Неточная калибровка локальных детекторов превышения мощности — уровень 1	103
Пример 33.	Отказ канала систем безопасности во время регламентных испытаний — уровень 1	105
Пример 34.	Проект станции в части противодействия событиям, связанным с затоплением, возможно, не обеспечивает смягчения последствий отказов систем трубопроводов — уровень 1	106
Пример 35.	Два аварийных дизель-генератора не запустились после отключения от основных источников энергоснабжения — уровень 2.	107
Пример 36.	Потеря принудительной циркуляции газа на 15-20 мин — уровень 2	110
Пример 37.	Малая течь в первом контуре — уровень 2	113
Пример 38.	Частичное засорение водозабора в холодную погоду — уровень 3	114
Пример 39.	Аварийный останов энергоблока, вызванный возмущениями в энергосистеме вследствие урагана — уровень 3	116
Пример 40.	Полное обесточивание станции вследствие пожара в турбинном здании — уровень 3	118

Пример 41.	Потеря охлаждения во время останова вследствие повышения давления теплоносителя — событие ниже шкалы/уровень 0	143
Пример 42.	Потеря охлаждения из-за ложного срабатывания датчиков давления — событие ниже шкалы/уровень 0	144
Пример 43.	Полная потеря охлаждения во время останова — уровень 1	146
Пример 44.	Потеря охлаждения во время останова вследствие повышения давления теплоносителя — уровень 2	148
Пример 45.	Потеря охлаждения из-за ложного срабатывания датчиков давления — уровень 3	149
Пример 46.	Потеря охлаждения во время останова вследствие повышения давления теплоносителя — уровень 3	151
Пример 47.	Повышение давления в незаполненном объеме аппарата для растворения твэлов — событие ниже шкалы/уровень 0	152
Пример 48.	Потеря охлаждения в исследовательском реакторе малой мощности — событие ниже шкалы/уровень 0	153
Пример 49.	Высокие уровни излучения на установке по рециклированию ядерного материала — событие ниже шкалы/уровень 0	155
Пример 50.	Работник получил интегральную дозу на все тело выше нормативного предела — уровень 1	157
Пример 51.	Неудовлетворительный контроль критичности — уровень 1	158
Пример 52.	Длительная потеря вентиляции на предприятии по изготовлению топлива — уровень 1	160
Пример 53.	Отказ блокировочной системы защитных дверей — уровень 2	162
Пример 54.	Резкое увеличение мощности в исследовательском реакторе во время перегрузки топлива — уровень 2	163
Пример 55.	Условия, близкие к возникновению критичности, на установке по рециклированию ядерного материала — уровень 2	164

СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ

ЧЛЕНЫ КОНСУЛЬТАТИВНОГО КОМИТЕТА ПО ИНЕС (по состоянию на 30 июня 2008 года)

Abe, K	Организация по безопасности ядерной энергетики Японии, Япония
Dos Santos, R.	Национальная комиссия по атомной энергии, Институт радиационной защиты и дозиметрии, Бразилия
Gauvain, J. <i>(представитель по связи ОЭСР/АЯЭ)</i>	Агентство по ядерной энергии/Организация экономического сотрудничества и развития
Jones, C.G	Комиссия по ядерному регулированию Соединенные Штаты Америки
Jouve, A.	Autorité de Sûreté Nucléaire, Франция
Ramirez, M.L.	Consejo de Seguridad Nuclear, Испания
Sharma, S.K.	Департамент атомной энергии, Индия
Spiegelberg Planer, R. <i>(координатор МАГАТЭ по ИНЕС)</i>	Международное агентство по атомной энергии
Stott, A.K.	компания "ЭСКОМ Хоулдинг лимитед", Южная Африка
van Iddekinge, F.	Министерство жилья, территориального плани- рования и окружающей среды, Нидерланды
Влахов, Н.	Агентство по ядерному регулированию, Болгария
Woodcock, C.	компания "Селлафилд лимитед", Соединенное Королевство

НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРЕДСТАВИТЕЛИ ПО ИНЕС (по состоянию на 30 июня 2008 года)

Агапов, А.М.	Министерство Российской Федерации по атомной энергии, Российская Федерация
Al-Suleiman, К.М.	Город науки и технологий им. короля Абдулазиза, Саудовская Аравия
Ананенко, А.	Государственный комитет ядерного регулирования Украины, Украина
Assi, М.	Комиссия по атомной энергии Ливана, Ливан
Basaez Pizarro, Н.	Чилийская комиссия по ядерной энергии, Чили
Belamarić, N.	Государственное управление радиационной защиты, Хорватия
Bermudez Jimenez, L.A.	Комиссия по атомной энергии, Коста-Рика
Breuskin, P.	Министерство здравоохранения, Люксембург
Cao, S.	Управление по атомной энергии Китая, Китай
Chande, S.K.	Регулирующий совет по атомной энергии, Индия
Ciurea-Ercau, С.М.	Национальная комиссия по контролю ядерной деятельности, Румыния
Coenen, S.	Федеральное агентство ядерного контроля, Бельгия
Freire de Nave, D.Y.	Главное управление по ядерной энергии, Гватемала
Glazunov, A.	Игналинская АЭС, Литва
Gonzalez, V.	Национальная комиссия по ядерной безопасности и гарантиям, Мексика
Grimaldi, G.	Институт охраны окружающей среды и экологических исследований, Италия
Gulol, O. O.	Управление по атомной энергии Турции, Турция

Guterres, R.	Национальная комиссия по атомной энергии, Бразилия
Heilbron, P.	Национальная комиссия по атомной энергии, Бразилия
Hofer, P.	Федеральное министерство сельского хозяйства, лесоводства и водных ресурсов, Австрия
Hornkjøl, S.	Норвежское управление по радиационной защите, Норвегия
Huang, F.	Научно-исследовательский институт эксплуатации АЭС, Китай
Isasia González, R.	Consejo de Seguridad Nuclear, Испания
Jones, R.	Управление по ядерной безопасности, Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии
Jones, C.G.	Комиссия по ядерному регулированию, Соединен- ные Штаты Америки
Jouve, A.	Autorité de Sûreté Nucléaire, Франция
Jovanovic, S.	Университет Черногории, научный факультет, Черногория
Kampmann, D.	Агентство по управлению в чрезвычайных ситуаци- ях, Дания
Kim, S.	Министерство науки и технологий, Республика Корея
Koskineemi, T.	Управление радиационной и ядерной безопасности, Финляндия
Larsson, N.	Шведское управление по радиационной безопас- ности, Швеция
Lavalle Heilbron, P.F.	Национальная комиссия по атомной энергии, Бразилия

Linhart, O.	Государственное управление ядерной безопасности, Чешская Республика
Linsenmaier, B.	Швейцарская федеральная инспекция по ядерной безопасности, Швейцария
Maltezos, A.	Комиссия по атомной энергии Греции, Греция
Malu wa Kalenga	Commissariat General a l'Energie Atomique, Демократи- ческая Республика Конго
Mansoor, F.	Комиссия по атомной энергии Пакистана, Пакистан
Maqua, M.	Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit, Германия
Melkumyan, A.	Управление по ядерному регулированию Армении, Армения
Metke, E.	Управление по ядерному регулированию Словацкой Республики, Словакия
Morishita, Y.	Агентство по ядерной и промышленной безопас- ности, Япония
Mottl, V.	Австралийское агентство по радиационной защите и ядерной безопасности, Австралия
Muller, A.	Национальный орган ядерного регулирования, Южная Африка
Nemes, T.	Администрация по ядерной безопасности Слове- нии, Словения
Nhi Dien, N.	Институт ядерных исследований, Вьетнам
Nyisztor, D.	Управление по атомной энергии Венгрии, Венгрия
Oliveira Martins, J.	Agência Portuguesa do Ambiente, Португалия
Palsson, S.E.	Исландский институт радиационной защиты, Исландия
Perez, S.	Autoridad Regulatoria Nuclear, Аргентина

Pollard, D.	Ирландский институт радиационной защиты, Ирландия
Попов, Б.	Институт энергетических проблем Академии наук Беларуси, Беларусь
Rahman, M.	Комиссия по атомной энергии Бангладеш, Бангладеш
Ramirez, R.	Instituto Peruano de Energia Nuclear, Перу
Rashad, S.	Управление по атомной энергии, Египет
Ragheb, H.	Комиссия по ядерной безопасности Канады, Канада
Rastkhah, N.	Организация по атомной энергии Ирана, Исламская Республика Иран
Шарипов, М.	Комитет по атомной энергии Казахстана, Казахстан
Silva. W.A.P.	Управление по атомной энергии, Шри-Ланка
Skarzewski, M.	Государственная инспекция по радиационной и ядерной безопасности, Польша
Suman, H.	Комиссия по атомной энергии, Сирийская Арабская Республика
Suyama, K.	Министерство просвещения, культуры, спорта, науки и технологии, Япония
Thielen, G.	Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit, Германия
Valcic, I.	Государственное управление ядерной безопасности, Хорватия
van Iddekinge, F.	Министерство жилья, территориального планирова- ния и окружающей среды, Нидерланды
Vinhas, L.	Национальная комиссия по атомной энергии, Бразилия
Влахов, Н.	Агентство по ядерному регулированию, Болгария

Wild, V.	Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit, Германия
Yousef, S.	Министерство здравоохранения, Кувейт
Zhang, F.	Управление по атомной энергии Китая, Китай
Жук, Ю.	Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации АЭС, Российская Федерация

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ

O'Donovan, M.	Европейский атомный форум
Tallebois, C.	Европейский атомный форум
Welsh, G.	Всемирная ассоциация организаций, эксплуатиру- ющих АЭС

РЕЦЕНЗЕНТЫ МАГАТЭ

Vasici, F.	
Буглова, Е.	
Czarwinski, R.	
Dodd, B. (<i>консультант МАГАТЭ</i>)	
Eklund, M.	
Friedrich, V.	
Mc Kenna, T.	
Spiegelberg Planer, R.	
Wangler, M.	
Wheatley, J.	

Совещания Технического комитета

Вена, Австрия: 1-4 июля 2008 года

Совещания консультантов

Кейптаун, Южная Африка: 9-13 октября 2006 года

Вена, Австрия: 4-8 июня 2007 года, 10-21 сентября 2007 года, 18-22 февраля
2008 года

Заседания Консультативного комитета ИНЕС

Вена, Австрия: 19-23 марта 2007 года, 17-20 марта 2008 года



IAEA

Международное агентство по атомной энергии

№ 22

Где заказать публикации МАГАТЭ

В указанных странах публикации МАГАТЭ могут быть приобретены у перечисленных ниже поставщиков или в крупных книжных магазинах. Оплата может производиться в местной валюте или купонами ЮНЕСКО.

АВСТРАЛИЯ

DA Information Services, 648 Whitehorse Road, MITCHAM 3132
Телефон: +61 3 9210 7777 • Факс: +61 3 9210 7788
Эл. почта: service@dadirect.com.au • Веб-сайт: <http://www.dadirect.com.au>

БЕЛЬГИЯ

Jean de Lannoy, avenue du Roi 202, B-1190 Brussels
Телефон: +32 2 538 43 08 • Факс: +32 2 538 08 41
Эл. почта: jean.de.lannoy@infoboard.be • Веб-сайт: <http://www.jean-de-lannoy.be>

ВЕНГРИЯ

Librotrade Ltd., Book Import, P.O. Box 126, H-1656 Budapest
Телефон: +36 1 257 7777 • Факс: +36 1 257 7472 • Эл. почта: books@librotrade.hu

ГЕРМАНИЯ

UNO-Verlag, Vertriebs- und Verlags GmbH, Am Hofgarten 10, D-53113 Bonn
Телефон: +49 228 94 90 20 • Факс: +49 228 94 90 20 или +49 228 94 90 222
Эл. почта: bestellung@uno-verlag.de • Веб-сайт: <http://www.uno-verlag.de>

ИНДИЯ

Allied Publishers Group, 1st Floor, Dubash House, 15, J. N. Heredia Marg, Ballard Estate, Mumbai 400 001,
Телефон: +91 22 22617926/27 • Факс: +91 22 22617928
Эл. почта: alliedpl@vsnl.com • Веб-сайт: <http://www.alliedpublishers.com>

Bookwell, 2/72, Nirankari Colony, Delhi 110009
Телефон: +91 11 23268786, +91 11 23257264 • Факс: +91 11 23281315
Эл. почта: bookwell@vsnl.net

ИСПАНИЯ

Díaz de Santos, S.A., c/ Juan Bravo, 3A, E-28006 Madrid
Телефон: +34 91 781 94 80 • Факс: +34 91 575 55 63
Эл. почта: compras@diazdesantos.es, carmela@diazdesantos.es, barcelona@diazdesantos.es, julio@diazdesantos.es
Веб-сайт: <http://www.diazdesantos.es>

ИТАЛИЯ

Libreria Scientifica Dott. Lucio di Biasio "AEIOU", Via Coronelli 6, I-20146 Milan
Телефон: +39 02 48 95 45 52 или 48 95 45 62 • Факс: +39 02 48 95 45 48
Эл. почта: info@libreriaaeiou.eu • Веб-сайт: www.libreriaaeiou.eu

КАНАДА

Bernan Associates, 4501 Forbes Blvd, Suite 200, Lanham, MD 20706-4346, USA
Телефон 1-800-865-3457 • Факс: 1-800-865-3450
Эл. почта: customercare@bernan.com • Веб-сайт: <http://www.bernan.com>

Renouf Publishing Company Ltd., 1-5369 Canotek Rd., Ottawa, Ontario, K1J 9J3
Телефон: +613 745 2665 • Факс: +613 745 7660
Эл. почта: order.dept@renoufbooks.com • Веб-сайт: <http://www.renoufbooks.com>

КИТАЙ

Публикации МАГАТЭ на китайском языке:
China Nuclear Energy Industry Corporation, Translation Section, P.O. Box 2103, Beijing

НИДЕРЛАНДЫ

De Lindeboom Internationale Publicaties B.V., M.A. de Ruyterstraat 20A, NL-7482 BZ Haaksbergen
Телефон: +31 (0) 53 5740004 • Факс: +31 (0) 53 5729296
Эл. почта: books@delindeboom.com • Веб-сайт: <http://www.delindeboom.com>

Martinus Nijhoff International, Koraalrood 50, P.O. Box 1853, 2700 CZ Zoetermeer
Телефон: +31 793 684 400 • Факс: +31 793 615 698
Эл. почта: info@nijhoff.nl • Веб-сайт: <http://www.nijhoff.nl>

Swets and Zeitlinger b.v., P.O. Box 830, 2160 SZ Lisse
Телефон: +31 252 435 111 • Факс: +31 252 415 888
Эл. почта: infoho@swets.nl • Веб-сайт: <http://www.swets.nl>

НОВАЯ ЗЕЛАНДИЯ

DA Information Services, 648 Whitehorse Road, MITCHAM 3132, Australia
Телефон: +61 3 9210 7777 • Факс: +61 3 9210 7788
Эл. почта: service@dadirect.com.au • Веб-сайт: <http://www.dadirect.com.au>

ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ

Dept. I004, Room DC2-0853, First Avenue at 46th Street, New York, N.Y. 10017, USA
(UN) Телефон: +800 253-9646 или +212 963-8302 • Факс: +212 963-3489
Эл. почта: publications@un.org • Веб-сайт: <http://www.un.org>

РЕСПУБЛИКА КОРЕЯ

KINS Inc., Information Business Dept. Samho Bldg. 2nd Floor, 275-1 Yang Jae-dong SeoCho-G, Seoul 137 130
Телефон: +02 589 1740 • Факс: +02 589 1746 • Веб-сайт: <http://www.kins.re.kr>

СЛОВЕНИЯ

Sankarjeva Zalozba d.d., Kopitarjeva 2, SI-1512 Ljubljana
Телефон: +386 1 432 31 44 • Факс: +386 1 230 14 35
Эл. почта: import.books@cankarjeva-z.si • Веб-сайт: <http://www.cankarjeva-z.si/uvoz>

СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО

The Stationery Office Ltd, International Sales Agency, PO Box 29, Norwich, NR3 1 GN
Телефон (заказы): +44 870 600 5552 • (справки): +44 207 873 8372 • Факс: +44 207 873 8203
Эл. почта (заказы): book.orders@tso.co.uk • (справки): book.enquiries@tso.co.uk • Веб-сайт: <http://www.tso.co.uk>

Онлайн-заказы

DELTA Int Book Wholesalers Ltd., 39 Alexandra Road, Addlestone, Surrey, KT15 2PQ
Эл. почта: info@profbooks.com • Веб-сайт: <http://www.profbooks.com>

Книги по экологии

Earthprint Ltd., P.O. Box 119, Stevenage SG1 4TP
Телефон: +44 1438748111 • Факс: +44 1438748844
Эл. почта: orders@earthprint.com • Веб-сайт: <http://www.earthprint.com>

СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ

Bernan Associates, 4501 Forbes Blvd, Suite 200, Lanham, MD 20706-4346
Телефон: 1-800-865-3457 • Факс: 1-800-865-3450
Эл. почта: customercare@bernan.com • Веб-сайт: <http://www.bernan.com>

Renouf Publishing Company Ltd., 812 Proctor Ave., Ogdensburg, NY, 13669
Телефон: +888 551 7470 (бесплатный) • Факс: +888 568 8546 (бесплатный)
Эл. почта: order.dept@renoufbooks.com • Веб-сайт: <http://www.renoufbooks.com>

ФИНЛЯНДИЯ

Akateeminen Kirjakauppa, PO BOX 128 (Keskuskatu 1), FIN-00101 Helsinki
Телефон: +358 9 121 41 • Факс: +358 9 121 4450
Эл. почта: akatilaus@akateeminen.com • Веб-сайт: <http://www.akateeminen.com>

ФРАНЦИЯ

Form-Edit, 5, rue Janssen, P.O. Box 25, F-75921 Paris Cedex 19
Телефон: +33 1 42 01 49 49 • Факс: +33 1 42 01 90 90
Эл. почта: formedit@formedit.fr • Веб-сайт: <http://www.formedit.fr>

Lavoisier SAS, 145 rue de Provigny, 94236 Cachan Cedex
Телефон: + 33 1 47 40 67 02 • Факс: +33 1 47 40 67 02
Эл. почта: romuald.verrier@lavoisier.fr • Веб-сайт: <http://www.lavoisier.fr>

ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА

Suweco CZ, S.R.O., Klecakova 347, 180 21 Praha 9
Телефон: +420 26603 5364 • Факс: +420 28482 1646
Эл. почта: nakup@suweco.cz • Веб-сайт: <http://www.suweco.cz>

ЯПОНИЯ

Maruzen Company, Ltd., 13-6 Nihonbashi, 3 chome, Chuo-ku, Tokyo 103-0027
Телефон: +81 3 3275 8582 • Факс: +81 3 3275 9072
Эл. почта: journal@maruzen.co.jp • Веб-сайт: <http://www.maruzen.co.jp>

Заказы и запросы в отношении информации можно также направлять непосредственно по адресу:

Группа сбыта и маркетинга, Международное агентство по атомной энергии - Marketing and Sales Unit, International Atomic Energy Agency

Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria
Телефон: +43 1 2600 22529 (или 22530) • Факс: +43 1 2600 29302
Эл. почта: sales.publications@iaea.org • Веб-сайт: <http://www.iaea.org/books>

Международная шкала ядерных и радиологических событий (ИНЕС) была разработана в 1990 году группой экспертов, созданной МАГАТЭ и Агентством по ядерной энергии ОЭСР, в качестве инструмента информирования о значимости событий с точки зрения безопасности. Настоящее издание Руководства для пользователей ИНЕС предназначено для облегчения задачи тех, кому необходимо оценивать значимость событий с точки зрения безопасности с использованием данной шкалы. Оно содержит дополнительные указания и разъяснения, а также примеры и комментарии, относящиеся к применению ИНЕС. Ожидается, что данное новое издание будет широко использоваться государствами-членами, и ИНЕС станет всемирной шкалой, позволяющей получить правильную оценку значимости с точки зрения безопасности любого события, связанного с транспортировкой (перевозкой), хранением и использованием радиоактивного материала и источников излучения, независимо от того, происходит ли данное событие на установке или за ее пределами.